

49



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO E INTEGRACION DE PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS PARA TELEFONOS PORTATILES ANALOGICOS Y DIGITALES TDMA

299/271

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO - ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA - ELECTRONICA)

P R E S E N T A N
ALEJANDRA EUGENIA LEMUS REBOLLO
JOSE ANTONIO LORIA CASTILLO
FERNANDO JAIR MEZA BLANCAS
EDUARDO PICHARDO TALAVERA

ASESOR: M. I. LAURO SANTIAGO CRUZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A todos nuestros profesores universitarios, por ser una fuente inagotable de conocimientos, y especialmente al M.I. Lauro Santiago Cruz por su valiosa colaboración en la realización de este trabajo.

A nuestra Universidad.

Gracias.

Con todo mi cariño y agradecimiento

A mis papás:

Por brindarme su amor, su esfuerzo y su confianza en todo momento para realizar mis metas.

A mis abuelitos y a mi tía Rosita (👩)

Por compartir su cariño y su espacio, apoyándome cuando más lo necesité.

A Tomasito:

Porque a lo largo de estos años, tu cariño, confianza y apoyo incondicional me han alentado para conseguir este logro.

A Paty:

Por estar siempre junto a mí.

A mi tía Marila:

Por sus consejos, su alegría y sobre todo por su cariño.

A mis amigos:

En especial a Susy Hernández y Toño Loría por hacer más gratos estos años.

A la Universidad y a la Facultad de Ingeniería.

Alejandra

A mi familia:

Por ser la base, fuerte, para crecer y haberme hecho perder la comodidad de la ignorancia.

A mis amigos:

Por mostrarme lo que ello significa.

A la Universidad:

Por hacerme entender que la mayor revolución comienza con uno mismo.

A ti:

Por supuesto.

Fernando J. Meza

A mis padres:

Con todo cariño por su incansable dedicación, cuidados, y transmisión de conocimientos. En agradecimiento por compartir conmigo tantas alegrías, impulsándome siempre a seguir adelante.

A mis hermanos:

Por su apoyo incondicional y confianza.

A mis amigos:

Los de hoy y los de siempre...

Eduardo

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | v |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE DIAGRAMAS | x |
| INTRODUCCIÓN | xii |
| CAPÍTULO 1 | |
| ANTECEDENTES | |
| 1.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA TELEFONÍA CELULAR | 1 |
| 1.2. ESTÁNDARES | 3 |
| 1.2.1. AMPS y D-AMPS | 4 |
| 1.2.2. Agencias y asociaciones para la regulación del espectro radioeléctrico | 6 |
| 1.3. SISTEMA CELULAR BÁSICO | 7 |
| 1.3.1. Estación Móvil | 7 |
| 1.3.2. Estación Base | 8 |
| 1.3.3. Central de Conmutación Móvil | 9 |
| 1.4. INTRODUCCIÓN A LAS FRECUENCIAS | 10 |
| 1.4.1. Espectro Radioeléctrico | 10 |
| 1.4.2. Banda Celular 800 MHz | 11 |
| 1.4.3. Banda PCS 1900 MHz | 15 |
| 1.5. MÉTODOS DE ACCESO | 16 |
| 1.5.1. FDMA | 16 |
| 1.5.2. CDMA | 16 |
| 1.5.3. TDMA | 16 |
| 1.5.4. Estructura de una trama digital TDMA | 16 |
| 1.5.5. Estructura de un <i>slot</i> TDMA | 18 |
| 1.6. MODULACIÓN DIGITAL | 19 |
| 1.6.1. Modulación Digital PSK | 20 |
| 1.6.2. Modulación Digital $\pi/4$ DQPSK | 20 |
| 1.7. MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM) | 23 |

CAPÍTULO 2

LOS CANALES DE CONTROL, TRÁFICO Y VOZ

| | |
|--|----|
| 2.1. CANAL DE CONTROL | 25 |
| 2.1.1. El Canal de Control Digital | 26 |
| 2.1.2. El Canal de Control Analógico | 29 |
| 2.2. CANAL DE TRÁFICO DIGITAL | 29 |
| 2.3. CANAL DE VOZ ANALÓGICO | 31 |
| 2.4. MENSAJES EN EL CANAL DE CONTROL DE BAJADA | 31 |
| 2.5. MENSAJES EN EL CANAL DE CONTROL DE SUBIDA | 33 |
| 2.6. MENSAJES EN EL CANAL DE TRÁFICO Y VOZ DE BAJADA | 37 |
| 2.7. MENSAJES EN EL CANAL DE TRÁFICO Y VOZ DE SUBIDA | 37 |
| 2.8. POTENCIA DE SALIDA Y CONTROL DE POTENCIA | 38 |
| 2.8.1. Reducciones de Potencia en la Banda Celular | 38 |
| 2.8.2. Reducciones de Potencia en la Banda PCS | 40 |
| 2.9. SUPERVISIÓN Y REUSO DE FRECUENCIAS | 41 |

CAPÍTULO 3

PROCESO DE LLAMADA

| | |
|---|----|
| 3.1. PROCESO DE LLAMADA A UNA ESTACIÓN MÓVIL | 43 |
| 3.2. PROCESO DE LLAMADA DESDE UNA ESTACIÓN MÓVIL | 46 |
| 3.3. <i>HAND-OFF</i> ANALÓGICO | 49 |
| 3.4. <i>HAND-OFF</i> DIGITAL | 51 |
| 3.5. <i>HAND-OFF</i> ENTRE DOS ESTACIONES BASE DIGITALES | 55 |
| 3.6. <i>HAND-OFF</i> DE ESTACIÓN BASE DIGITAL A ANALÓGICA | 59 |
| 3.7. LIBERACIÓN DE LLAMADA | 59 |

CAPÍTULO 4

LA ESTACIÓN MÓVIL

| | |
|--|----|
| 4.1. DESCRIPCIÓN DE UNA ESTACIÓN MÓVIL | 61 |
| 4.1.1. Sintetizador de Frecuencias | 62 |
| 4.1.2. Circuito Sintetizador de UHF | 62 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.3. Frecuencias para el Demodulador y Modulador I/Q | 65 |
| 4.2. SECCIÓN DE RECEPCIÓN | 65 |
| 4.2.1. Sección <i>front-end</i> | 66 |
| 4.2.2. Amplificador de Bajo Ruido | 67 |
| 4.2.3. Primer Mezclador | 67 |
| 4.2.4. Circuito de Primera Frecuencia Intermedia | 68 |
| 4.2.5. Segundo Mezclador | 68 |
| 4.2.6. Circuito de Segunda Frecuencia Intermedia | 68 |
| 4.2.7. Demodulador FM y Demodulador I/Q | 68 |
| 4.3. SECCIÓN DE TRANSMISIÓN | 69 |
| 4.3.1. Modulador FM | 70 |
| 4.3.2. Modulador I/Q | 71 |
| 4.3.3. Circuito de Filtrado y Preamplificación | 72 |
| 4.3.4. Circuito Amplificador de Potencia | 72 |
| 4.3.5 Sección <i>front-end</i> | 73 |
| 4.4. SECCIÓN LÓGICA O DE CONTROL | 74 |
| 4.4.1. Módulo de Suministro de Energía | 75 |
| 4.4.2. Procesador Huésped | 77 |
| 4.4.3. Interfaz de Usuario | 79 |
| 4.4.4. Módulo de Procesamiento de Banda Base | 80 |
| 4.4.5. Módulo de Audio | 85 |
| 4.4.6. Módulo de Entrada / Salida (I/O) | 87 |

CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS

| | |
|--|------------|
| 5.1. CONSIDERACIONES GENERALES | 88 |
| 5.2. FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN | 89 |
| 5.2.1. Medición de Frecuencia de Tx en Modo Analógico, Banda Celular | 89 |
| 5.2.2. Medición de Frecuencia Tx en Modo Digital, Banda Celular | 93 |
| 5.2.3. Medición de Frecuencia Tx en Modo Digital, Banda PCS | 97 |
| 5.3. POTENCIA DE TRANSMISIÓN | 101 |
| 5.3.1. Medición de Potencia de Tx en Modo Analógico, Banda Celular | 101 |
| 5.3.2. Medición de Potencia de Tx en Modo Digital, Banda Celular | 107 |
| 5.3.3. Medición de Potencia de Tx en Modo Digital, Banda PCS | 113 |
| 5.4. DESVIACIÓN MÁXIMA DE FRECUENCIA | 119 |
| 5.5. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE FRECUENCIA | 123 |

| | |
|--|------------|
| 5.6. FRECUENCIA DEL ST Y DESVIACIÓN CAUSADA POR EL ST | 127 |
| 5.7. FRECUENCIA DEL SAT Y DESVIACIÓN CAUSADA POR EL SAT | 131 |
| 5.8. DESVIACIÓN CAUSADA POR LOS TONOS DTMF | 135 |
| 5.9. RESPUESTA A LA SEÑAL DE AUDIO DE LA FRECUENCIA Tx | 139 |
| 5.10. DISTORSIÓN DE LA SEÑAL DE AUDIO TRANSMITIDA | 143 |
| 5.11. RUIDO DE LA TRANSMISIÓN | 147 |
| 5.12. PRECISIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL, BANDA CELULAR | 151 |
| 5.13. PRECISIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL, BANDA PCS | 155 |
| 5.14. POTENCIA DE CANAL ADYACENTE, BANDA CELULAR | 159 |
| 5.15. POTENCIA DE CANAL ADYACENTE, BANDA PCS | 163 |
| 5.16. SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR EN MODO ANALÓGICO | 167 |
| 5.17. SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR EN MODO DIGITAL | 171 |
| 5.17.1. Sensibilidad del Receptor en Modo Digital, Banda Celular | 171 |
| 5.17.2. Sensibilidad del Receptor en Modo Digital, Banda PCS | 175 |
| 5.18. NIVEL DE AUDIO FRECUENCIA DE RECEPCIÓN | 179 |
| 5.19. DISTORSIÓN DE LA SEÑAL DE AUDIO RECIBIDA | 183 |
| 5.20. RUIDO EN LA RECEPCIÓN | 187 |
| 5.21. RESPUESTA A LA SEÑAL DE AUDIO FRECUENCIA Rx | 191 |
| 5.22. PRECISIÓN DEL RSSI, BANDA CELULAR | 195 |
| 5.23. PRECISIÓN DEL RSSI, BANDA PCS | 201 |
| RESULTADOS Y CONCLUSIONES | 207 |
| BIBLIOGRAFÍA | 209 |
| APÉNDICES | |
| APÉNDICE A GLOSARIO DE ACRÓNIMOS | A1 |
| APÉNDICE B TELÉFONO MÓVIL NEX 2600 | B1 |
| APÉNDICE C EQUIPO DE MEDICIÓN HP 8920B | C1 |
| APÉNDICE D RESUMEN DE ESTÁNDARES | D1 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------|--|----|
| Figura 1.1. | Sistema celular básico. | 8 |
| Figura 1.2. | Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. | 10 |
| Figura 1.3. | Estructura de un <i>frame</i> digital TDMA. | 17 |
| Figura 1.4. | Entrelazado en TDMA. | 17 |
| Figura 1.5. | Estructura de un <i>slot</i> TDMA. | 18 |
| Figura 1.6. | Modulación QPSK. | 20 |
| Figura 1.7. | Representación de un diagrama I/Q. | 21 |
| Figura 1.8. | Transiciones de fases para la modulación $\pi/4$ DQPSK. | 22 |
| Figura 1.9. | Modulación de frecuencia (FM). | 23 |
| Figura 2.1. | Tareas del canal de control. | 25 |
| Figura 2.2. | Estructura del canal de control digital. | 27 |
| Figura 2.3. | Estructura del canal de tráfico digital. | 30 |
| Figura 2.4. | Estructura del ESN. | 34 |
| Figura 2.5. | Estructura del MIN. | 35 |
| Figura 2.6. | Estructura del SID. | 35 |
| Figura 2.7. | Mapa de asignación DVCC. | 42 |
| Figura 3.1. | Proceso de llamada de la red pública hacia una estación móvil. | 44 |
| Figura 3.2. | Proceso de selección, MBLC y sintonización de canal. | 44 |
| Figura 3.3. | Conversación y supervisión de llamada. | 46 |
| Figura 3.4. | Proceso de iniciación de llamada desde una estación móvil. | 46 |
| Figura 3.5. | Proceso de validación, selección de canal y MBLC. | 47 |
| Figura 3.6. | Sintonización al canal de voz seleccionado y determinación de SNR / BER. | 48 |
| Figura 3.7. | Timbrado y supervisión de la calidad de transmisión. | 48 |
| Figura 3.8. | Medición de la señal, realizada por las estaciones base adyacentes. | 50 |
| Figura 3.9. | Verificación de la calidad de transmisión. | 50 |
| Figura 3.10. | Mensaje de calidad de canal. | 53 |
| Figura 3.11. | (a) Petición de <i>hand-off</i> . (b) Petición de verificación. | 55 |
| Figura 3.12. | Mensaje de resultado. | 56 |
| Figura 3.13. | <i>Hand-off</i> entre dos estaciones base digitales. | 56 |
| Figura 3.14. | <i>Hand-off</i> digital. | 58 |
| Figura 3.15. | Liberación de llamada. | 60 |
| Figura 4.1. | Secciones de una estación móvil. | 61 |
| Figura 4.2. | Diagrama a bloques de una estación móvil <i>dual mode / dual band</i> . | 63 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura 4.3. | Diagrama a bloques del circuito sintetizador de UHF. | 64 |
| Figura 4.4. | Sección <i>front-end</i> . | 66 |
| Figura 4.5. | Sección de recepción. | 67 |
| Figura 4.6. | Sección de transmisión. | 69 |
| Figura 4.7. | Circuito PLL para sintetizador VHF y modulador de FM. | 71 |
| Figura 4.8. | Modulador I/Q. | 72 |
| Figura 4.9. | Sección de transmisión celular y PCS. | 72 |
| Figura 4.10. | Módulos principales de la sección lógica de la estación móvil. | 74 |
| Figura 4.11. | Diagrama del circuito de control de energía. | 75 |
| Figura 4.12. | Circuito de control de energía. | 75 |
| Figura 4.13. | Arquitectura del procesador huésped. | 77 |
| Figura 4.14. | Interfaz de usuario. | 79 |
| Figura 4.15. | Arquitectura del procesador de banda base. | 81 |
| Figura 5.1. | Medición de frecuencia de Tx en modo analógico, banda celular. (Resultado). | 92 |
| Figura 5.2. | Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda celular. (Resultado). | 96 |
| Figura 5.3. | Medición de frecuencia Tx en modo digital, banda PCS. (Resultado). | 100 |
| Figura 5.4. | Medición de nivel de potencia 0 Tx modo analógico, banda celular. (Resultado). | 105 |
| Figura 5.5. | Medición de nivel de potencia 5 Tx modo analógico, banda celular. (Resultado). | 105 |
| Figura 5.6. | Medición de nivel de potencia 7 Tx modo analógico, banda celular. (Resultado). | 106 |
| Figura 5.7. | Medición de nivel de potencia 0 Tx modo digital, banda celular. (Resultado). | 111 |
| Figura 5.8. | Medición de nivel de potencia 5 Tx modo digital, banda celular. (Resultado). | 111 |
| Figura 5.9. | Medición de nivel de potencia 7 Tx modo digital, banda celular. (Resultado). | 112 |
| Figura 5.10. | Medición de nivel de potencia 0 Tx modo digital, banda PCS. (Resultado). | 117 |
| Figura 5.11. | Medición de nivel de potencia 5 Tx modo digital, banda PCS. (Resultado). | 117 |
| Figura 5.12. | Medición de nivel de potencia 10 Tx modo digital, banda PCS. (Resultado). | 118 |
| Figura 5.13. | Medición de la desviación máxima de frecuencia. (Resultado). | 122 |
| Figura 5.14. | Medición de desviación estándar de frecuencia. (Resultado). | 126 |
| Figura 5.15. | Medición de la frecuencia y desviación del ST. (Resultado). | 130 |
| Figura 5.16. | Medición de la frecuencia y desviación del SAT. (Resultado). | 134 |
| Figura 5.17. | Medición de la desviación de los tonos DTMF. Resultado con error. | 138 |
| Figura 5.18. | Medición de la desviación de los tonos DTMF. Resultado con ajuste. | 138 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.19. Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx. Resultado a 1004 Hz, -27.8 dBV. | 142 |
| Figura 5.20. Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx. Resultado a 3000 Hz, -27.8 dBV. | 142 |
| Figura 5.21. Medición de la distorsión de la señal de AF transmitida. (Resultado). | 146 |
| Figura 5.22. Medición de ruido en la transmisión. Resultado con AF a 1004 Hz, -10.1 dBV. | 150 |
| Figura 5.23. Medición de ruido en la transmisión. Resultado sin AF. | 150 |
| Figura 5.24. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda celular. (Resultado). | 154 |
| Figura 5.25. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda PCS. (Resultado). | 158 |
| Figura 5.26. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, Banda celular. (Resultado). | 162 |
| Figura 5.27. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, Banda PCS. (Resultado). | 166 |
| Figura 5.28. Medición de SINAD en modo analógico, banda celular. (Resultado). | 170 |
| Figura 5.29. Medición de BER en modo digital, banda celular. (Resultado). | 174 |
| Figura 5.30. Medición de BER en modo digital, banda PCS. (Resultado). | 178 |
| Figura 5.31. Medición de nivel de AF de recepción. (Resultado). | 182 |
| Figura 5.32. Medición de la distorsión de la señal de audio recibida. (Resultado). | 186 |
| Figura 5.33. Medición de ruido en la recepción. Resultado con AF a 1004 Hz, 8 kHz de desviación. | 190 |
| Figura 5.34. Medición de ruido en la recepción. Resultado sin AF. | 190 |
| Figura 5.35. Medición a la respuesta de la señal de AF de Rx. Resultado a 1004 Hz, 1 kHz de desviación. | 194 |
| Figura 5.36. Medición a la respuesta de la señal de AF de Rx. Resultado a 300 Hz, 1 kHz de desviación. | 194 |
| Figura 5.37a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular. Resultado a -60 dBm. | 198 |
| Figura 5.37b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -60 dBm. | 198 |
| Figura 5.38a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular. Resultado a -80 dBm. | 199 |
| Figura 5.38b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -80 dBm. | 199 |
| Figura 5.39a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular. Resultado a -110 dBm. | 200 |
| Figura 5.39b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -110 dBm. | 200 |
| Figura 5.40a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda PCS. Resultado a -60 dBm. | 204 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.40b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -60 dBm. | 204 |
| Figura 5.41a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda PCS. Resultado a -80 dBm. | 205 |
| Figura 5.41b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -80 dBm. | 205 |
| Figura 5.42a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda PCS. Resultado a -110 dBm. | 206 |
| Figura 5.42b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -110 dBm. | 206 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1. Bandas del espectro radioeléctrico. | 11 |
| Tabla 1.2. Frecuencias para la banda 800 MHz. | 12 |
| Tabla 1.3. Asignación de canales para banda celular 800 MHz. | 13 |
| Tabla 1.4. Determinación de la frecuencia central en función del número de canal (800 MHz). | 13 |
| Tabla 1.5. Subdivisión PCS banda ancha. | 14 |
| Tabla 1.6. Asignación de canales para banda PCS 1900 MHz. | 15 |
| Tabla 1.7. Determinación de la frecuencia central en función del número de canal (1900 MHz). | 15 |
| Tabla 2.1. Bits 13 y 14 en el SID. | 35 |
| Tabla 2.2. Marcas de clase de estación móvil (Bits 4-0). | 36 |
| Tabla 2.3. Niveles de potencia nominal en estaciones móviles en la banda celular. | 39 |
| Tabla 2.4. Niveles de potencia nominal en estaciones móviles en la banda PCS. | 40 |
| Tabla 2.5. Asignación de SAT. | 41 |
| Tabla 3.1. Código de BER. | 45 |
| Tabla 3.2. Código de RSSI. | 51 |
| Tabla 3.3. Mensaje de orden de medición. | 52 |
| Tabla 3.4. Mensaje de orden de medición reconocido. | 52 |
| Tabla 3.5. Mensaje de calidad de canal 1. | 53 |
| Tabla 3.6. Mensaje de calidad de canal 2. | 54 |
| Tabla 3.7. Componentes de la orden de <i>hand-off</i> . | 57 |
| Tabla 3.8. Componentes del mensaje de reconocimiento "Ack". | 58 |
| Tabla 4.1. Frecuencias para los tonos DTMF. | 85 |
| Tabla 5.1. Frecuencias de transmisión para los canales de prueba recomendados en modo analógico banda celular. | 89 |
| Tabla 5.2. Frecuencias de transmisión para los canales de prueba recomendados en modo digital banda celular. | 93 |
| Tabla 5.3. Frecuencias de transmisión para los canales de prueba recomendados en modo digital banda PCS. | 97 |

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

| | | |
|----------------|---|-----|
| Diagrama 5.1. | Medición de frecuencia de Tx en modo analógico, banda celular. | 90 |
| Diagrama 5.2. | Medición de frecuencia de Tx en modo analógico, banda celular. (Aplicación). | 91 |
| Diagrama 5.3. | Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda celular. | 94 |
| Diagrama 5.4. | Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda celular. (Aplicación). | 95 |
| Diagrama 5.5. | Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda PCS. | 98 |
| Diagrama 5.6. | Medición de frecuencia Tx en modo digital, banda PCS. (Aplicación). | 99 |
| Diagrama 5.7. | Medición de potencia de Tx en modo analógico, banda celular. | 102 |
| Diagrama 5.8. | Medición de potencia de Tx en modo analógico, banda celular. (Aplicación). | 104 |
| Diagrama 5.9. | Medición de potencia de Tx en modo digital, banda celular. | 108 |
| Diagrama 5.10. | Medición de potencia de Tx en modo digital, banda celular. (Aplicación). | 109 |
| Diagrama 5.11. | Medición de potencia de Tx en modo digital, banda PCS. | 114 |
| Diagrama 5.12. | Medición de potencia de Tx en modo digital, banda PCS. (Aplicación). | 115 |
| Diagrama 5.13. | Medición de la desviación máxima de frecuencia. | 120 |
| Diagrama 5.14. | Medición de la desviación máxima de frecuencia. (Aplicación). | 121 |
| Diagrama 5.15. | Medición de desviación estándar de frecuencia. | 124 |
| Diagrama 5.16. | Medición de desviación estándar de frecuencia. (Aplicación). | 125 |
| Diagrama 5.17. | Medición de la frecuencia y desviación del ST. | 128 |
| Diagrama 5.18. | Medición de la frecuencia y desviación del ST. (Aplicación). | 129 |
| Diagrama 5.19. | Medición de la frecuencia y desviación del SAT. | 132 |
| Diagrama 5.20. | Medición de la frecuencia y desviación del SAT. (Aplicación). | 133 |
| Diagrama 5.21. | Medición de la desviación de los tonos DTMF. | 136 |
| Diagrama 5.22. | Medición de la desviación de los tonos DTMF. (Aplicación). | 137 |
| Diagrama 5.23. | Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx. | 140 |
| Diagrama 5.24. | Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx. (Aplicación). | 141 |
| Diagrama 5.25. | Medición de la distorsión de la señal de AF transmitida. | 144 |
| Diagrama 5.26. | Medición de la distorsión de la señal de AF transmitida. (Aplicación). | 145 |
| Diagrama 5.27. | Medición de ruido en la transmisión, modo analógico. | 148 |
| Diagrama 5.28. | Medición de ruido en la transmisión, modo analógico. (Aplicación). | 149 |
| Diagrama 5.29. | Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda celular. | 152 |
| Diagrama 5.30. | Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda celular. (Aplicación). | 153 |

| | |
|--|-----|
| Diagrama 5.31. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda PCS. | 156 |
| Diagrama 5.32. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda PCS. (Aplicación). | 157 |
| Diagrama 5.33. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda celular. | 160 |
| Diagrama 5.34. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda celular. (Aplicación). | 161 |
| Diagrama 5.35. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda PCS. | 164 |
| Diagrama 5.36. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda PCS. (Aplicación). | 165 |
| Diagrama 5.37. Medición de SINAD en modo analógico, banda celular. | 168 |
| Diagrama 5.38. Medición de SINAD en modo analógico, banda celular. (Aplicación). | 169 |
| Diagrama 5.39. Medición de BER en modo digital, banda celular. | 172 |
| Diagrama 5.40. Medición de BER en modo digital, banda celular. (Aplicación). | 173 |
| Diagrama 5.41. Medición de BER en modo digital, banda PCS. | 176 |
| Diagrama 5.42. Medición de BER en modo digital, banda PCS. (Aplicación). | 177 |
| Diagrama 5.43. Medición de nivel de AF de Rx. | 180 |
| Diagrama 5.44. Medición de nivel de AF de Rx. (Aplicación). | 181 |
| Diagrama 5.45. Medición de la distorsión de la señal de AF de Rx. | 184 |
| Diagrama 5.46. Medición de la distorsión de la señal de AF de Rx. (Aplicación). | 185 |
| Diagrama 5.47. Medición de ruido en la recepción. | 188 |
| Diagrama 5.48. Medición de ruido en la recepción. (Aplicación). | 189 |
| Diagrama 5.49. Medición de la respuesta a la señal de AF en Rx. | 192 |
| Diagrama 5.50. Medición de la respuesta a la señal de AF en Rx. (Aplicación). | 193 |
| Diagrama 5.51. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular. | 196 |
| Diagrama 5.52. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular. (Aplicación). | 197 |
| Diagrama 5.53. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda PCS. | 202 |
| Diagrama 5.54. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda PCS. (Aplicación). | 203 |

INTRODUCCIÓN

La industria de la telefonía móvil ha tenido un gran desarrollo en los últimos años, debido a la necesidad de tener una forma de comunicación móvil accesible y que ofrezca servicios adicionales al usuario.

Como consecuencia de este desarrollo, los proveedores de servicio de telefonía móvil se han visto en la necesidad de contar con las herramientas para ofrecer un servicio de mejor calidad. Una forma de mejorar el servicio es teniendo la capacidad de resolver fallas en la operación interna de los teléfonos móviles, sin tener que recurrir al fabricante. De esta forma se logra reducir el tiempo de respuesta al problema que presenta el teléfono móvil, implicando con esto que el usuario esté el menor tiempo posible incomunicado para que el proveedor de servicio continúe ofreciendo tiempo aire. Actualmente, la mayoría de los proveedores de servicio tienen la capacidad de dar un mantenimiento a nivel 1, es decir, solucionan problemas de configuración, reemplazo de accesorios y partes con daño físico visible; pero no tienen la completa capacidad de dar un mantenimiento a nivel 2, en el cual se verifica el funcionamiento interno del teléfono con respecto a las especificaciones normalizadas, para hacer los ajustes necesarios o en su caso determinar la necesidad de aplicar un mantenimiento a nivel 3. Este último se realiza para corregir las fallas en los componentes electrónicos y en los circuitos de los módulos del teléfono móvil.

Atendiendo la problemática descrita anteriormente, el presente trabajo tiene como objetivo el de integrar y desarrollar un conjunto de procedimientos de pruebas para que el proveedor de servicio pueda dar un mantenimiento a nivel 2 o en su caso diagnosticar las fallas que requieran un nivel de mantenimiento 3. El conjunto de procedimientos son aplicables a todos aquellos teléfonos móviles, basados en el estándar IS-136, que operen en las bandas de 800 MHz y 1900 MHz, con la capacidad de trabajar en modo analógico y digital en el mercado nacional. Cabe mencionar que en la República Mexicana la banda PCS de 1900 MHz ha sido puesta en operación recientemente y que los procedimientos de pruebas contemplan la aplicación para esta banda.

Este trabajo da una visión general de los conceptos de telefonía móvil. Los primeros cuatro capítulos tienen la finalidad de proporcionar las bases necesarias para comprender la operación de un teléfono móvil en un sistema celular básico. En el primer capítulo se describen los organismos de regulación, nacionales e internacionales, encargados de asignar las frecuencias dentro del espectro radioeléctrico, así como la de emitir los estándares de operación específicos para teléfonos móviles. De igual forma se describe de

manera general la estructura y funcionamiento de un sistema celular básico y los conceptos generales del método de acceso TDMA.

En los capítulos 2 y 3 se describen los elementos del protocolo de comunicación que permiten el control y el proceso de llamada entre los componentes de un sistema celular básico; mientras que en el capítulo 4 se describe de manera general los módulos de un teléfono móvil, así como su funcionamiento.

Tomando como base los conceptos descritos en los primeros cuatro capítulos, en el capítulo 5 se integran y se desarrollan procedimientos de pruebas para verificar el funcionamiento de un teléfono móvil, independientemente de su fabricante. Posteriormente, los procedimientos de pruebas son aplicados a un teléfono móvil específico para comprobar que nos llevan a la obtención de los parámetros de funcionamiento estandarizados.

Finalmente, se presentan los resultados y conclusiones del presente trabajo, así como los apéndices generados y la bibliografía consultada.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En este capítulo se presenta una breve visión histórica de la telefonía móvil y de los organismos nacionales e internacionales encargados de regular los aspectos relacionados con el desempeño de ésta. También se describen el sistema celular básico, métodos de acceso y modulación, resaltando el método de acceso TDMA y la modulación digital $\pi/4$ DQPSK.

1.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA TELEFONÍA CELULAR

Las tecnologías más importantes en la historia de las telecomunicaciones son: la telegrafía, telefonía, radio y datos. Cada una de éstas ha progresado debido a las innovaciones en los materiales, la tecnología de manufactura y las necesidades que vamos teniendo en cada época.

En 1888, Heinrich Hertz, demostró que la polarización, la reflexión y la refracción de las ondas de radio eran idénticas en comportamiento a las de la luz (excepto por la diferencia en la longitud de onda). Se le considera el padre de la radio.

El italiano Guglielmo Marconi en 1894, basándose en los experimentos de Hertz, logró enviar señales a grandes distancias. Realizó la primera transmisión trasatlántica, de Inglaterra a Terranova, en 1901.

La radiotelefonía llegó a ser posible y fue usada durante la Gran Guerra de 1914 – 1918, teniendo un uso muy limitado.

En 1921 se instaló el primer sistema de radiotelefonía móvil y se introdujo por primera vez el concepto de transmisión de información en una sola dirección, este evento fue llevado a cabo por el Departamento de Policía de la ciudad de Detroit, EUA. En la década de los 30's se extendió el uso del servicio de radiolocalización por las dependencias del gobierno, los departamentos de policía y las fuerzas armadas de EUA; usando transmisores de potencia se emitieron mensajes de viva voz desde una locación estacionaria (estación base) a una estación móvil. Este sistema operaba en la banda de los 2 MHz; sin embargo, debido a los adelantos tecnológicos y al incremento en la demanda de servicio, se inició la tendencia hacia el uso de mayores frecuencias.

En los años cuarenta se instalaron nuevos sistemas comerciales en las bandas de los 33 y 150 MHz. Estos sistemas operaban solamente en un solo sentido, por lo cual para poder lograr la llamada se requería de un operador de teléfono.

Hacia mediados de los años sesenta se tienen nuevos sistemas en la banda de los 150 MHz con operación en ambos sentidos, búsqueda automática de canales y con marcación desde y hacia la estación móvil. Sistemas muy similares se tuvieron hacia finales de esa década en la banda de los 450 MHz. Estos sistemas fueron predecesores de lo que posteriormente se llamó sistemas IMTS (*Improved Mobile Telephone System*, Sistema Mejorado de Telefonía Móvil), el cual se convirtió en un estándar para los sistemas de telefonía móvil.

Estos sistemas, por lo general, trabajaban en frecuencias menores a los 460 MHz y daban servicio a varios departamentos de gobierno, a la industria y sistemas de transporte, así como también a usuarios privados mediante las llamadas bandas civiles.

En 1978 en la ciudad de Chicago, EUA, comenzó a instalarse en su fase experimental el sistema AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*, Sistema Telefónico Móvil Avanzado), en la banda de los 900 MHz, disponiendo de 666 canales como capacidad total.

El primer sistema celular de tipo experimental, se instaló en Europa, en la banda de los 450 MHz, denominándolo NMT (*Nordic Mobile Telephone*, Telefonía Móvil Nórdica). Este sistema entró en operación comercial en 1981 cubriendo gran parte de los países nórdicos, más adelante este mismo sistema se instaló en otros países europeos.

A principios de los ochenta, se instalaron los sistemas de comunicaciones celulares RF de primera generación, los cuales transmitían con la tecnología analógica FDMA (*Frequency Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Frecuencia). Entre estos sistemas se encontraban AMPS, NMT y TACS (*Total Access Communication System*, Sistema de Comunicaciones de Acceso Total).

La necesidad de nuevos sistemas surgió al aumentar el número de suscriptores, lo cual generaba problemas de capacidad. Además, algunas áreas deseaban sistemas de comunicación entre países, como en Europa. La instalación GSM (*Groupe Spéciale Mobile*, renombrado como *Global System for Mobile Communication*, Sistema Global para Comunicaciones Móviles) en 1992, marcó el inicio de los sistemas de segunda generación. Los sistemas NADC (*North America Digital Cellular*, Sistema Celular Digital Norteamericano) y PDC (*Personal Digital Cellular*, Sistema Celular Digital Personal) le siguieron en EUA y Japón, respectivamente. Para estos sistemas de segunda generación se combinaron las tecnologías de transmisión TDMA (*Time Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Tiempo) y FDMA, con lo que se proveía capacidad adicional.

A los sistemas mejorados de segunda generación, se les conoce como de segunda generación *plus*, y se introdujeron en el año de 1995. Estos sistemas fueron mejorados al ampliar la banda de los sistemas existentes a frecuencias PCS (*Personal Communications Services*, Servicios de Comunicaciones Personales) de 1.9 GHz, así como en la distribución de sistemas CDMA (*Code Digital Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Código), definidos en el estándar IS-95 (*Interim Standard 95*, Estándar Interino 95) en frecuencias tanto celular como PCS.

Los sistemas de segunda generación estaban planeados para instalarse internacionalmente, a diferencia de los de primera generación que estaban diseñados para un área geográfica específica.

En la actualidad se encuentran en desarrollo los sistemas de tercera generación. Se pretende que el IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications*, Telecomunicaciones Móviles Internacionales) sea un estándar global que ofrezca servicios con mayor velocidad de bits.

Los servicios que ofrecen los sistemas de segunda generación *plus*, serán los mismos para la red de tercera generación en su primera fase. En la segunda etapa de los sistemas de tercera generación se añadirán servicios adicionales que pueden ofrecerse solamente a través de esta red.

Los requerimientos para los sistemas de tercera generación están establecidos por la ITU (*International Telecommunications Union*, Unión Internacional de Telecomunicaciones).

Actualmente, entre otras características, el trabajo de investigación y desarrollo está orientado hacia una nueva generación de sistemas celulares que utilizan esquemas de modulación digital en la transmisión y una cobertura más amplia.

1.2. ESTÁNDARES

En un mundo global como el actual, la estandarización es un factor importante de orden y equidad entre las naciones productoras y las usuarias de diversos productos y servicios.

Se puede decir que publicar e implantar un estándar, equivale a establecer y operar un pacto establecido en un documento técnico, mediante el cual los fabricantes, los distribuidores, los usuarios o consumidores y la Administración Pública, acuerdan las características que deberán reunir los productos o servicios involucrados.

En los sistemas celulares existen varios estándares, tanto para el modo analógico como para el digital, tales como: NMT, TACS y AMPS para el caso analógico, y D-AMPS (*Digital AMPS*, AMPS digital) y GSM para el caso digital. Debido a que nuestro trabajo se enfocará en los estándares que operan en la República Mexicana, explicaremos a continuación el AMPS y D-AMPS.

1.2.1. AMPS y D-AMPS

AMPS

En 1977 AT&T implementa una red celular experimental en Chicago, con la cual formó en 1982 una subsidiaria conocida como AMPS para completar el servicio de esa misma ciudad. El sistema AMPS entró en operación comercial en los EUA en 1983 con una capacidad inicial de 30,000 abonados.

El AMPS es un estándar para el servicio telefónico celular. El estándar AMPS, EIA/TIA 553 (*Electronics Industries Association/Telecommunication Industries Association*, Asociación de Industrias Electrónicas/Asociación de Industrias de Telecomunicaciones), resulta de la serie de artículos técnicos de AT&T los cuales especifican las características generales de un sistema de comunicaciones inalámbrico efectivo y de gran escala.

El AMPS se localiza dentro del rango de frecuencias de 800 - 900 MHz. Cada proveedor de servicio puede usar el rango de frecuencia de 824 - 849 MHz para la estación móvil y el rango de frecuencias de 869 - 894 MHz para la estación base.

Inicialmente se contaba con 40 MHz de ancho de banda y se tenían 333 canales dúplex para cada banda (312 para voz y 21 para control). Posteriormente se agregaron 10 MHz, completando 416 canales (395 para voz y 21 para control). Cuando se hace referencia al sistema original se habla de AMPS y para el segundo caso de EAMPS (*Extended AMPS*, AMPS extendido).

El servicio analógico de AMPS ha sido actualizado como servicio celular digital añadiendo al FDMA una subdivisión de cada canal usando TDMA (*Time Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Tiempo). Este servicio es conocido como AMPS digital (D-AMPS). Estos servicios fueron originados para el mercado de Telefonía Celular en EUA y actualmente son usados alrededor del mundo.

D-AMPS

El D-AMPS es un estándar emitido en 1990 para el servicio telefónico celular de modo dual (analógico y digital TDMA) para la banda de 800 MHz, basado en el

EIA/TIA IS-54. En este estándar se añadió TDMA al AMPS para conseguir tres canales por cada canal de AMPS, triplicando el número de llamadas que pueden ser tomadas en cada uno de los canales. Al igual que el AMPS, el D-AMPS se encuentra dentro del rango de frecuencia de los 800 - 900 MHz en el espectro radioeléctrico. Cada proveedor de servicio puede usar el rango de frecuencia de 824 - 849 MHz para la estación móvil y el rango de frecuencias de 869 - 894 MHz para la estación base.

El D-AMPS es una de las tres tecnologías inalámbricas digitales que usan TDMA. Las otras dos son GSM y PDC. Cada una de estas tecnologías interpreta al TDMA de diferente manera y no son compatibles. Una ventaja del D-AMPS es que es más fácil la actualización de una red existente de AMPS analógico. Este estándar dio origen al ahora llamado estándar IS-136.

Los estándares interinos (IS) escritos para D-AMPS son:

- IS-54. Compatibilidad en Modo Dual entre la Estación Móvil y la Estación Base, es decir, con capacidad de operación tanto en modo analógico como en modo digital.
- IS-55. Estándares de Desempeño Mínimo Recomendado para 800 MHz. Estaciones Móviles en Modo Dual.
- IS-56. Estándares de Desempeño Mínimo Recomendado para 800 MHz. Estaciones Base en Modo Dual.
- IS-136. Estaciones Móviles en Banda Dual, es decir, con capacidad de operación tanto en la banda celular de 800 MHz y en la banda PCS de 1.9 GHz. Es un nuevo estándar derivado de la especificación IS-54.
- IS-137. Estándares de Desempeño Mínimo Recomendado para banda celular de 800 MHz y banda PCS de 1.9 GHz. Estaciones Móviles en Modo Dual.
- IS-138. Estándares de Desempeño Mínimo Recomendado para banda celular de 800 MHz y banda PCS de 1.9 GHz. Estaciones Base en Modo Dual.

Las características para los estándares D-AMPS son:

- Gran capacidad de suscriptores.
- Eficiente uso del espectro radioeléctrico.
- Cobertura nacional y amplia disponibilidad de servicio.
- Disponibilidad en densidad de tráfico mayor que en AMPS.
- Servicio a teléfonos portátiles 0.6 W.
- Calidad del servicio telefónico.

PCS

En EUA se refieren a este concepto como Servicios de Comunicaciones Personales PCS, en Europa han preferido llamarle PCN (*Personal Communications Networks*, Redes de Comunicaciones Personales). En ambos casos no se hace referencia a una tecnología o servicio en particular, más bien de lo que se trata es de un grupo de tecnologías y servicios que en conjunto proporcionarán al usuario comunicaciones personalizadas que incluyan los conceptos de portabilidad y movilidad.

Consideraciones de los servicios ofrecidos:

- No importará en donde se encuentren las personas o si se encuentran en movimiento o no, la red será capaz de administrar y particularizar a cada cliente de acuerdo a sus necesidades y seguirlos hacia donde estos se mueven.
- La red soportará el concepto de UPIN (*Universal Personal Identification Number*, Número de Identificación Personal Universal).
- Se podrán ofrecer servicios de voz, datos y video.

El espectro utilizado por estos servicios se encuentra en la banda de 2 GHz (1.885-2.2 GHz).

1.2.2. Agencias y asociaciones para la regulación del espectro radioeléctrico

Las agencias de regulación son organismos nacionales e internacionales encargados de emitir recomendaciones para el uso del espectro radioeléctrico, basados en los estándares establecidos. Por otro lado, las asociaciones son agrupaciones de industriales y compañías del ramo de las telecomunicaciones.

ITU

La mayor organización internacional es la ITU (*International Telecommunication Union*, Unión Internacional de Telecomunicaciones), la cual fue creada en 1966 y tiene casi 200 países miembros. La ITU está encargada de la definición de las actividades del sector de las telecomunicaciones, no solamente en la publicación de los reglamentos para telefonía, radio y telégrafo, sino también de las recomendaciones técnicas para la definición de estándares o normas. Sin embargo, su mayor actividad es la de establecer y mantener la cooperación y cohesión de las políticas nacionales de la administración de las telecomunicaciones de los estados miembros.

EIA / TIA

La EIA es una asociación fundada en 1924 encargada de hacer las recomendaciones en los temas de electrónica. La TIA es una subdivisión de la EIA que representa a las compañías del ramo de las telecomunicaciones en los EUA y algunos países alrededor del mundo. La TIA, formada en 1988, sirve como la voz de la industria manufacturera de telecomunicaciones ante los temas políticos públicos que afectan a sus miembros.

CTIA

Formada en 1984, la CTIA (*Cellular Telecommunications Industry Association*, Asociación de Industrias de Telecomunicaciones Celulares) es la organización internacional que representa a todos los elementos de las telecomunicaciones inalámbricas: celular, PCS, *trunking*, *paging* y enlaces satelitales. La asociación está dedicada a promover la simplicidad del uso y servicio de las telecomunicaciones inalámbricas para el beneficio de los consumidores.

La CTIA aprobó la implementación del método de acceso TDMA como una técnica de selección para la siguiente generación de celulares.

COFETEL

COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) es un organismo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) encargado de elaborar y mantener actualizado el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, con el objeto de promover un desarrollo eficiente de las telecomunicaciones dentro del territorio de la República Mexicana. COFETEL emitió la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SCT1-1993, en donde se regula el funcionamiento de la telefonía celular analógica en la banda de 800 MHz.

1.3. SISTEMA CELULAR BÁSICO

Un sistema celular básico está formado por tres elementos, como se muestra en la figura 1.1: la Estación Móvil (MS, *Mobile Station*), la Estación Base (BS, *Base Station*) y la Central de Conmutación Móvil (MSC, *Mobile Switching Center*). Estos elementos serán descritos en las secciones siguientes.

1.3.1. Estación Móvil

La estación móvil, o teléfono móvil, es el elemento que permite el acceso al servicio de telefonía celular y está formada por tres secciones:

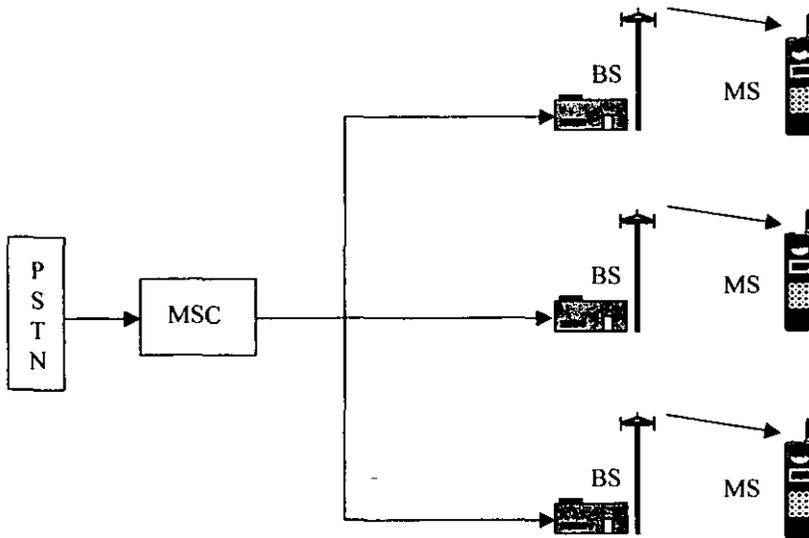


Figura 1.1. Sistema celular básico.

- Sección de Recepción: es la encargada de captar y demodular la señal de radiofrecuencia.
- Sección de Transmisión: esta sección se encarga de adecuar, mediante una modulación y amplificación, la señal a transmitir.
- Sección de Control o Lógica: en esta sección se realizan las funciones de señalización necesarias para establecer comunicación y es el enlace entre las secciones de recepción y transmisión.

Atendiendo la tecnología de las estaciones móviles, éstas se pueden clasificar en analógicas o digitales; mientras que dependiendo de la banda de frecuencia en la que pueden operar, se clasifican como estaciones de banda celular, de banda PCS o de banda dual (*dual band*). Esto será tratado más adelante dentro de este capítulo.

1.3.2. Estación Base

La estación base tiene como función principal el manejo del tráfico de información y la de asegurar la comunicación hacia y desde la estación móvil. La estación base radia una señal de radiofrecuencia dentro de una área geográfica determinada llamada célula, por lo que una estación base también recibe el nombre de sitio celular.

Los componentes de la estación base son:

- Antena.
- Equipo de radio transmisión y recepción.
- Controladores para los canales de voz y de control.
- Interfaz con la central de conmutación móvil.

1.3.3. Central de Conmutación Móvil

La central de conmutación móvil maneja todas las conexiones y desconexiones de llamadas de la estación móvil, al igual que sirve como interfaz entre el sistema celular y la central de la red de telefonía pública (PSTN, *Public Switching Telephone Network*)

El equipo MSC tiene las siguientes funciones:

- Concentra los enlaces que lo conectan con todas las estaciones base y así poder administrar, validar y controlar a las estaciones móviles.
- Mediante la conmutación establece los medios que permitan la comunicación a través de una conexión hacia la PSTN.
- Interconexión con otros centros de conmutación móvil.

1.4. INTRODUCCIÓN A LAS FRECUENCIAS

Para ubicar las bandas de frecuencia asignadas a las comunicaciones de telefonía celular, es conveniente definir las ondas de radiofrecuencia, así como la ubicación del espectro radioeléctrico dentro del espectro electromagnético.

1.4.1. Espectro Radioeléctrico

Las señales de radiofrecuencia se definen como todas aquellas ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuya frecuencia se fija convencionalmente entre 3 kHz y 300 GHz, como se muestra en la figura 1.2.

Dentro del territorio de la República Mexicana, COFETEL es el organismo encargado de administrar el espectro radioeléctrico, tomando en consideración las

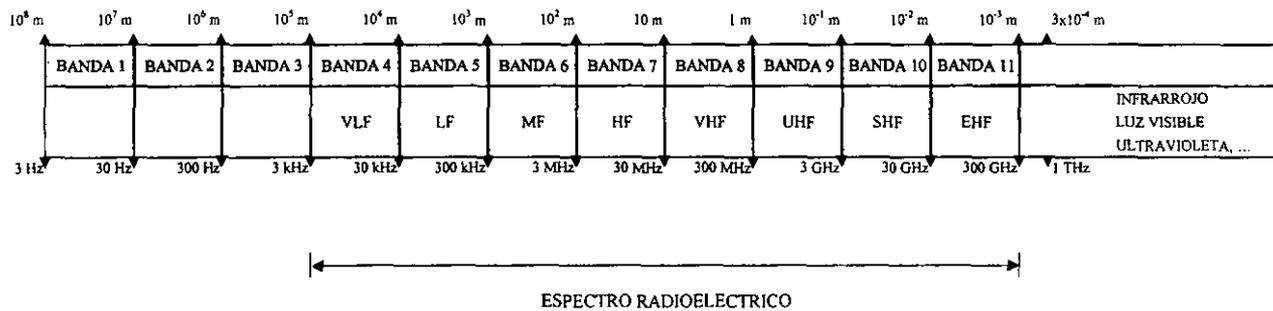


Figura 1.2. Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico.

disposiciones establecidas en el Reglamento de Radiocomunicaciones Simplificado de la ITU.

De esta forma, el espectro radioeléctrico se subdivide en ocho bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo a la tabla 1.1, en donde "La banda N" (N = número de banda) se extiende de 0.3×10^N Hz a 3×10^N Hz.

| Número de la Banda | Símbolo | Gama de Frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior) | Subdivisión Métrica Correspondiente |
|--------------------|---------|--|-------------------------------------|
| 4 | VLF | 3 a 30 kHz | Ondas miriamétricas |
| 5 | LF | 30 a 300 kHz | Ondas kilométricas |
| 6 | MF | 300 a 3000 kHz | Ondas hectométricas |
| 7 | HF | 3 a 30 MHz | Ondas decamétricas |
| 8 | VHF | 30 a 300 MHz | Ondas métricas |
| 9 | UHF | 300 a 3000 MHz | Ondas decimétricas |
| 10 | SHF | 3 a 30 GHz | Ondas centimétricas |
| 11 | EHF | 30 a 300 GHz | Ondas milimétricas |

Tabla 1.1. Bandas del espectro radioeléctrico.

La banda UHF es de especial importancia para la telefonía celular, ya que es en esta banda donde COFETEL atribuye los rangos de frecuencias a los servicios de telecomunicaciones móviles terrestres. Estas atribuciones de frecuencias serán tratadas en las siguientes secciones.

1.4.2. Banda Celular 800 MHz

En el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias México 1999, se han destinado los rangos de 824 - 825/869 - 870 MHz para la segunda ampliación de radiotelefonía celular a concesionarios A''; los rangos de 825 - 835/870 - 880 MHz para radiotelefonía celular a concesionarios A y los rangos de 835 - 845/880 - 890 MHz para radiotelefonía celular a concesionarios B. El rango de 845 - 846.5/890 - 891.5 MHz se destina para la primera ampliación de telefonía celular A' y el rango de 846.5 - 849/891.5 - 894 MHz para la ampliación de telefonía celular B'. Las atribuciones de frecuencias anteriores se muestran en la tabla 1.2. En la columna "Banda" se muestran los rangos de frecuencia para la estación móvil, mientras que en la columna "Banda Apareada" se muestran los correspondientes a la estación base.

La frecuencia de transmisión de la estación base debe ser mayor a la frecuencia de transmisión de la estación móvil y con una separación de 45 MHz entre ellas, la cual se define como distancia dúplex.

| Sistema | Banda | Banda Apareada |
|---------|-----------------|-----------------|
| A'' | 824 – 825 MHz | 869 – 870 MHz |
| A | 825 – 835 MHz | 870 - 880 MHz |
| B | 835 – 845 MHz | 880 - 890 MHz |
| A' | 845 – 846.5 MHz | 890 – 891.5 MHz |
| B' | 846.5 – 849 MHz | 891.5 – 894 MHz |

Tabla 1.2. Frecuencias para la banda 800 MHz.

Cabe mencionar que la diferencia en el tipo de concesionarios, A o B, es que los concesionarios o sistemas A son proveedores de servicio de telefonía celular con estructura inalámbrica entre la MSC y la BS, mientras que los concesionarios B cuentan con una estructura alámbrica.

Asignación de Canales

El ancho de banda de los canales debe ser 30 kHz y el canal de transmisión de la estación móvil 825.030 MHz, junto con el correspondiente canal de transmisión de la estación base 870.030 MHz, se define como canal número 1. El rango de 20 MHz de canales del 1 al 666, como se muestra en la tabla 1.3, para el sistema A y el sistema B fue el primero en asignarse, por lo que se le considera básico. Los 5 MHz de los canales 667 al 799 y del 991 al 1023 para el sistema ampliado A (A', A'') y B (B') se fueron agregando con el tiempo, por lo que se les considera adicionales.

Cada sistema de concesionarios A y B tiene 416 canales, haciendo un total de 832 canales. Debido a que las estaciones móviles transmiten a una frecuencia diferente a la que transmiten las estaciones base, en realidad son 832 canales de transmisión para estaciones móviles y sus correspondientes 832 canales de transmisión para estaciones base.

| Sistema | Ancho de Banda (MHz) | Total de Canales | Número de Canal Límite | Frecuencia Central del Transmisor (MHz) | |
|------------|----------------------|------------------|------------------------|---|---------------|
| | | | | Estación Móvil | Estación Base |
| (No Usado) | | 1 | (990) | (824.010) | (869.010) |
| A'' | 1 | 33 | 991 | 824.040 | 869.040 |
| | | | 1,023 | 825.000 | 870.000 |
| A | 10 | 333 | 1 | 825.030 | 870.030 |
| | | | 333 | 834.990 | 879.990 |
| B | 10 | 333 | 334 | 835.020 | 880.020 |
| | | | 666 | 844.980 | 889.980 |
| A' | 1.5 | 50 | 667 | 845.010 | 890.010 |
| | | | 716 | 846.480 | 891.480 |
| B' | 2.5 | 83 | 717 | 846.510 | 891.510 |
| | | | 799 | 848.970 | 893.970 |

Tabla 1.3. Asignación de canales para banda celular 800 MHz.

En la tabla 1.3, la frecuencia central correspondiente al número de canal N, se obtiene según las expresiones indicadas en la columna Frecuencia Central de la tabla 1.4

| Transmisor | Número de Canal | Frecuencia Central (MHz) |
|----------------|-------------------------|------------------------------|
| Estación Móvil | $1 \leq N \leq 799$ | $0.030 N + 825.000$ |
| | $990 \leq N \leq 1,023$ | $0.030 (N - 1023) + 825.000$ |
| Estación Base | $1 \leq N \leq 799$ | $0.030 N + 870.000$ |
| | $990 \leq N \leq 1,023$ | $0.030 (N - 1023) + 870.000$ |

Tabla 1.4. Determinación de la frecuencia central en función del número de canal (800 MHz).

1.4.3. Banda PCS 1900 MHz

En el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias México 1999, se han destinado para la implementación de PCS dos bandas de frecuencias: PCS de banda angosta y PCS de banda ancha.

Los rangos de frecuencia 901 - 902 MHz, 930 - 931 MHz y 940 - 941 MHz están destinadas para el servicio de PCS de banda angosta. Debido a que estas bandas son usadas para servicios de transmisión de datos y *paging* no serán consideradas en este trabajo.

Por otro lado, los rangos de frecuencias 1850 - 1910 MHz y 1930 - 1990 MHz se destinan para servicios de comunicación fija y móvil incluyendo PCS de banda ancha. Atendiendo las recomendaciones de la ITU, la banda 1850 - 1990 MHz se ha subdividido como se muestra en la tabla 1.5.

| Bloque | Sub-banda | Sub-banda Apareada |
|--------|-----------------|--------------------|
| A | 1850 - 1865 MHz | 1930 - 1945 MHz |
| B | 1870 - 1885 MHz | 1950 - 1965 MHz |
| C | 1895 - 1910 MHz | 1975 - 1990 MHz |
| D | 1865 - 1870 MHz | 1945 - 1950 MHz |
| E | 1885 - 1890 MHz | 1965 - 1970 MHz |
| F | 1890 - 1895 MHz | 1970 - 1975 MHz |
| | 1910 - 1930 MHz | (no apareada) |

Tabla 1.5. Subdivisión PCS banda ancha.

México, con base a sus necesidades y regulaciones nacionales, analiza la atribución de la banda 1910 - 1930 MHz, teniendo en cuenta las recomendaciones de la ITU.

Asignación de Canales

Al igual que para la banda de 800 MHz, para la banda de 1900 MHz la separación entre canales debe ser de 30 kHz y la definición de los canales se muestra en la tabla 1.6.

En la tabla 1.6 se observa que los canales con * no caen completamente dentro de un bloque sencillo (A,B,C,D,E o F). Una estación móvil con la capacidad de operar en cualquier bloque (A,B,C,D,E, F o cualquier combinación de estos) debe ser capaz de operar también en los canales frontera asociados. Por otro lado, la Frecuencia Central correspondiente al número de canal N se obtiene como se muestra en la tabla 1.7.

| Bloque | Ancho de Banda (MHz) | Total de Canales | Número de Canal Límite | Frecuencia Central del Transmisor (MHz) | |
|------------|----------------------|------------------|------------------------|---|----------------------|
| | | | | Estación Móvil | Estación Base |
| (No Usado) | | 1 | 1 | 1850.010 | 1930.050 |
| A | 15 | 497 | 2 498 | 1850.040 1864.920 | 1930.080 1944.960 |
| A,D * | | 1 | 499 | 1864.950 | 1944.990 |
| A,D * | | 1 | 500 | 1864.980 | 1945.020 |
| A,D * | | 1 | 501 | 1865.010 | 1945.050 |
| D | 5 | 164 | 502 665 | 1865.040 1869.930 | 1945.080 1949.970 |
| D,B * | | 1 | 666 | 1869.960 | 1950.000 |
| D,B * | | 1 | 667 | 1869.990 | 1950.030 |
| B | 15 | 498 | 668 1165 | 1870.020 1884.930 | 1950.060 1964.970 |
| B,E * | | 1 | 1166 | 1884.960 | 1965.000 |
| B,E * | | 1 | 1167 | 1884.990 | 1965.030 |
| E | 5 | 165 | 1168 1332 | 1885.020 1889.940 | 1965.060 1969.980 |
| E,F * | | 1 | 1333 | 1889.970 | 1970.010 |
| E,F * | | 1 | 1334 | 1890.000 | 1970.040 |
| F | 5 | 164 | 1335 1498 | 1890.030 1894.920 | 1970.070 1974.960 |
| F,C * | | 1 | 1499 | 1894.950 | 1974.990 |
| F,C * | | 1 | 1500 | 1894.980 | 1975.020 |
| F,C * | | 1 | 1501 | 1895.010 | 1975.050 |
| C | 15 | 497 | 1502 1998 | 1895.040 1909.920 | 1975.080 1989.960 |
| (No usado) | | 1 | 1999 | 1909.950 | 1989.990 |

Tabla 1.6. Asignación de canales para banda PCS 1900 MHz.

| Transmisor | Número de Canal | Frecuencia Central (MHz) |
|----------------|----------------------|--------------------------|
| Estación Móvil | $1 \leq N \leq 1999$ | $0.030 N + 1850.010$ |
| Estación Base | $1 \leq N \leq 1999$ | $0.030 N + 1930.050$ |

Tabla 1.7. Determinación de la frecuencia central en función del número de canal (1900 MHz).

1.5. MÉTODOS DE ACCESO

El método de acceso es la tecnología que permite el manejo de una señal de banda base. Los métodos de acceso utilizados hoy día son: FDMA, CDMA y TDMA.

El método FDMA es usado para transmisión analógica mientras que CDMA y TDMA son usados para analógico y digital.

1.5.1. FDMA

El acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) es usado en sistemas analógicos convencionales y permite múltiples comunicaciones en el mismo tiempo sin interferencia, en donde cada canal es asignado a una banda de frecuencia específica, y para escuchar otro canal, el receptor debe ser sintonizado en otra banda. Se utilizan dos frecuencias desde que se implementó el método de comunicación dúplex, en donde las frecuencias de transmisión y recepción están separadas por 45 MHz.

1.5.2. CDMA

El acceso múltiple por división de código (CDMA) usa una frecuencia o canal para llevar más de una conversación al mismo tiempo, cada uno de los mensajes es codificado para ser reensamblado en la parte de recepción. Cada mensaje tiene un código único que le permite ser distinguido de los otros dentro de un mismo canal.

1.5.3. TDMA

El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es el método de acceso usado para superar la limitante que tiene FDMA de una sola conversación por canal. Para lograr esto, TDMA fue diseñado con una arquitectura tal que permite tres conversaciones simultáneas por canal.

A partir de este punto nos enfocaremos a explicar TDMA, ya que el presente trabajo se basa en este método de acceso.

TDMA está basado en una trama digital principal llamada *frame*, la cual hace posible las diferentes llamadas al mismo tiempo.

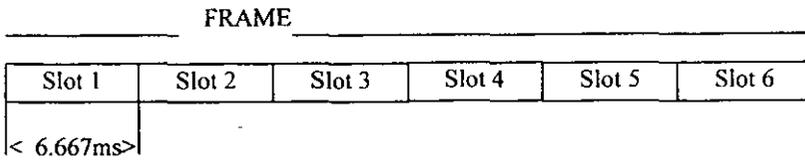
1.5.4. Estructura de una trama digital TDMA

La estructura de una trama digital TDMA tiene 40 ms de extensión y está compuesta por 6 *slots*. Con la tecnología actual para codificadores de voz, cada conversación ocupa dos *slots* por trama. Por ejemplo, la conversación 1 usa las ranuras 1 y 4, la conversación 2, usa las ranuras 2 y 5 y la conversación 3 usa las ranuras 3 y 6 (*full rate*). Si se instrumentan

los codificadores de voz a media velocidad (*half rate*), seis conversaciones diferentes serán soportadas en cada *frame*.

Como se muestra en la figura 1.3, cada *slot* tiene una duración de 6.667 ms y transmite 162 símbolos. Cada símbolo está compuesto de 2 bits, lo que da un total de 324 bits por *slot*. Esto representa una velocidad de símbolos de 24.3 ksimb/s.

- 1 frame = 6 slots
- 1 frame = 40 ms
- 1 frame = 972 símbolos
- frames/s = 25



$$972 \text{ símbolos/frame} \times 25 \text{ frame/s} = 24.3 \text{ ksimb/s}$$

Figura 1.3. Estructura de un *frame* digital TDMA.

Un grupo de tres *slots* forma un bloque, recibiendo el nombre de Bloque TDMA.

Para mejorar el rendimiento del sistema, los datos de la conversación son entrelazados en dos *slots* dentro del mismo *frame*, cada *slot* contiene una mitad de los datos de la conversación. De esta forma, si se pierde parte de un *slot*, sólo se corrompe parte del *frame*. Los datos restantes que se entrelazaron en un *slot* diferente todavía pueden regenerar la conversación.

Como se muestra en la figura 1.4, la mitad del *slot* Y es transmitida en el *slot* 1 y la otra mitad es transmitida en el *slot* 4. Para una mejor corrección de errores, los bits se colocan en un arreglo entrelazado y no se transmiten siguiendo un orden secuencial de *frames*. Por lo tanto, en una pérdida de datos, la pérdida de los bits más importantes se ajustará con la pérdida de los bits menos importantes.

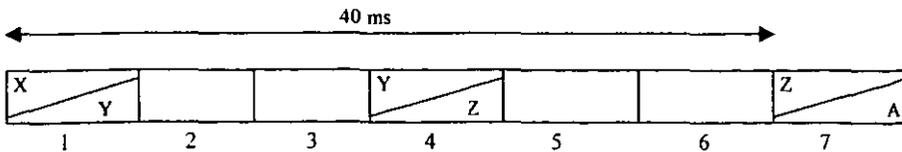


Figura 1.4. Entrelazado en TDMA.

Los *frames* se agrupan en *superframes*, que se componen de 16 *frames* con una duración total de 640 ms. Los *superframes* también se agrupan formando un *hyperframe*, el cual está formado por dos *superframes* con una duración total de 1.28 s.

1.5.5. Estructura de un slot TDMA

Un *slot* está integrado por 162 símbolos, o 324 bits. La estructura de datos es diferente para la estación móvil y para la estación base, esto se debe a que el móvil necesita más tiempo de ascenso para que sus circuitos RF reciban pulsos. La estación base siempre está transmitiendo, por lo que no requiere de un tiempo de ascenso. Debe notarse que tampoco hay un tiempo de guarda en el enlace entre la estación base y la estación móvil.

En la figura 1.5 se ve como el *slot* del móvil comienza con tiempo de guarda y tiempo de ascenso, transmite 8 símbolos de datos, después transmite la secuencia de sincronización. Esto va seguido por más datos, después el SACCH (*Slow Associated Control Channel*, Canal de Control Asociado Lento), el CDVCC (*Coded Digital Verification Color Code*, Código de Color para Verificación Digital) y después más datos. En la estación base, el *slot* no incluye tiempo de guarda o ascenso, por lo que estos seis símbolos se colocan al final del *time slot* y se reservan para uso futuro.

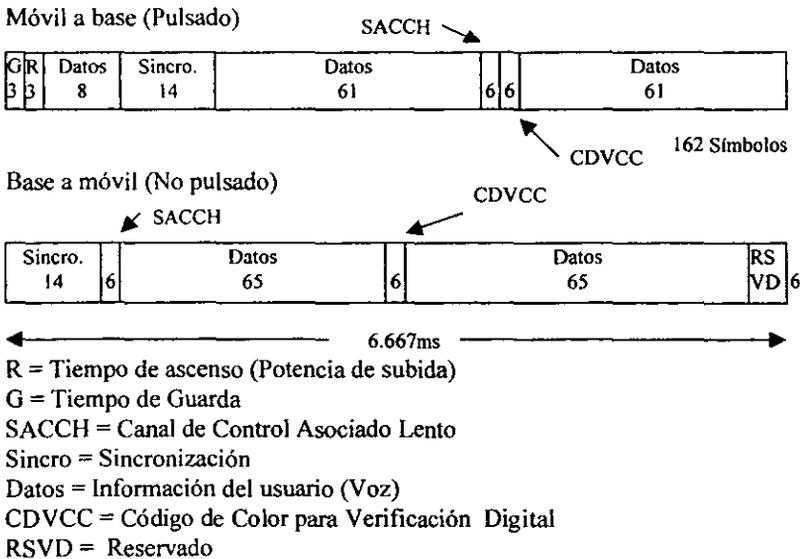


Figura 1.5. Estructura de un slot TDMA.

Sincronía en TDMA

La sincronía en un sistema TDMA es crítica para su correcto funcionamiento. Dado que el canal de comunicaciones se divide en *slots*, cada móvil necesita transmitir solamente en su *slot* para evitar la sobreposición, ya sea del *slot* anterior o del posterior.

El primer problema de sincronía ocurre cuando el móvil trata de entrar al sistema por primera vez. La estación móvil no tiene forma de saber cuál es la sincronía del sistema sino hasta después de haber estado en él durante algún tiempo, por tanto este es el momento probable para que interfiera con otros usuarios. Para reducir este problema, el móvil usa impulsos recortados cuando trata de entrar al sistema por primera vez. En lugar de los periodos usuales de 162 símbolos, los impulsos recortados duran solamente periodos de 48 símbolos. La teoría es que si el móvil no transmite mucho, este tiene menos posibilidades de interferir. Una vez establecida la sincronía del sistema, puede iniciarse la transmisión de duración regular.

Los móviles también incluyen algunos bits de guarda al comienzo de cada transmisión. Aquí es cuando existen mayores probabilidades de que ocurran errores de sincronización. Estos tiempos de guarda son periodos en los que el móvil no transmite y parece no recibir ningún dato.

Ajuste de tiempo

La estación base usa el parámetro de tiempo para indicar a los diversos móviles que ajusten sus tiempos de transmisión. Si la estación base nota que un móvil comienza a traslapar la guarda de tiempo del *slot* de otro móvil, envía un mensaje de alineación de tiempo ya sea a través de FACCH (*Fast Associated Control Channel*, Canal de Control Asociado Rápido) o SACCH instruyendo al móvil que transmita antes o después. Ésta es una actividad importante de la estación base, ya que los móviles están en traslación respecto a ella, por lo que la llegada de sus impulsos cambia constantemente. La estación base debe cambiar en forma activa el parámetro de ajuste de tiempo para evitar que se traslape la llegada de estos impulsos.

1.6. MODULACIÓN DIGITAL

La modulación es el proceso por el cual una propiedad o un parámetro de una señal portadora varía proporcionalmente respecto a una segunda señal moduladora. Existen dos tipos de modulación, la analógica y la digital. La principal ventaja de la modulación digital sobre la analógica es la menor interferencia que las señales externas puedan tener en la señal de banda base, así como un buen desempeño en cuanto a errores en términos de la relación señal a ruido.

Los sistemas digitales de comunicación móvil que emplean el método de acceso TDMA utilizan una modulación digital para la transmisión de la señal de banda base, por lo que en las siguientes secciones se describirá la modulación digital $\pi/4$ DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*, Cambio de Fase Asociado con Cuadratura Diferencial), empleada en el presente trabajo.

1.6.1 Modulación Digital PSK

La modulación PSK (*Phase Shift Keying*, Modulación por Cambio de Fase) es una técnica de modulación empleada en aplicaciones de alto desempeño y densidades de información intermedias.

Los ejemplos más comunes de modulación PSK son: 2 PSK, 4 PSK, también llamada QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*, Cambio de Fase Asociado con Cuadratura) y 8 PSK. En la figura 1.6 se muestran las formas de onda de una señal QPSK, y el diagrama respectivo de las fases de la señal.

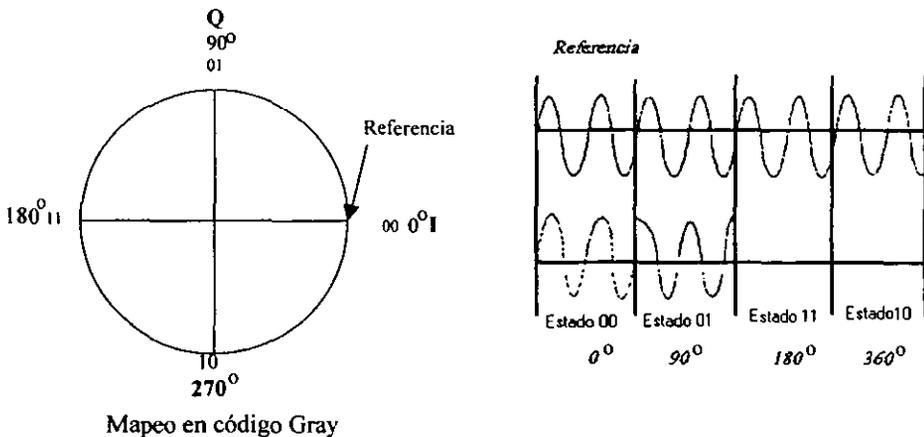


Figura 1.6. Modulación QPSK.

1.6.2. Modulación Digital $\pi/4$ DQPSK

La modulación $\pi/4$ QPSK es una variante de la modulación QPSK, donde tenemos que el eje de referencia inicial está girado 45° con respecto al origen (0°).

Para entender claramente la modulación PSK, explicaremos primero los diagramas I/Q (*In-phase In-Quadrature*). Los diagramas I/Q se usan comúnmente para describir sistemas de modulación de fase. Un sistema I/Q consiste en dos ejes ortogonales, para este caso un eje coseno y un eje coseno + 90° , de esta forma es posible representar la amplitud de la señal con la información por la extensión del vector del origen al punto especificado en el sistema de coordenadas, la fase del sistema puede ser representada por el ángulo desde un punto de referencia en particular.

La figura 1.7 muestra un diagrama I/Q, QPSK (asociado a cambio de fase en cuadratura) estándar.

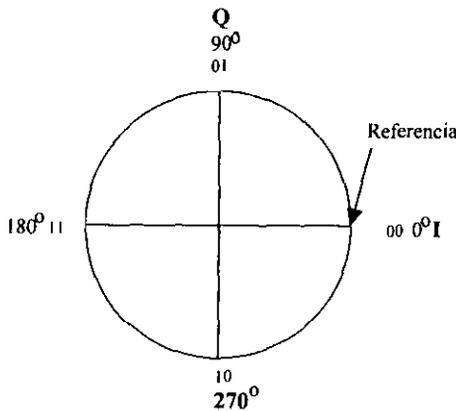


Figura 1.7. Representación de un diagrama I/Q.

Usando este método, dos bits de datos son enviados con cada símbolo. Por ejemplo, cuando la fase está a 0° de la referencia (senoidal pura), se envían los bits 00. Cuando la fase está a 90° con respecto a la referencia (cosenoidal pura), se envían los bits 01. Para un cambio de 180° (senoidal inversa), se envían los bits 11, y así sucesivamente.

En el diagrama I/Q anterior sólo hay una diferencia de 1 bit entre los estados de símbolo adyacentes. Si hubiera suficiente error de fase en un símbolo entrante para llevarlo de un estado de símbolo a otro, habría un bit de error.

La modulación $\pi/4$ DQPSK es utilizada en el sistema TDMA, es similar a la modulación QPSK descrita anteriormente, con dos excepciones:

- Es un sistema de Cambio de Fase Asociado con Cuadratura Diferencial (DQPSK). Esto significa que la fase es relativa al estado de la fase previa; por tanto, no se requiere una referencia de fase en el receptor para demodular los datos siendo más fácil reconstruir la señal.
- Las transiciones de fase se giran 45° respecto a sus equivalentes DQPSK normales. Esto significa que para el símbolo 00, en lugar de situarse en 0° , gira a 45° . Esto resuelve dos problemas: primero, en un sistema DQPSK no existiría cambio de fase en el diagrama I/Q cuando se reciben varios símbolos iguales continuos, perdiendo eventualmente la sincronización de los PLL. En $\pi/4$ DQPSK, la fase está siempre cambiando, lo que asegura que no se pierda la sincronía sin importar cuantos símbolos iguales continuos se reciban.

El segundo problema que se resuelve es que $\pi/4$ DQPSK asegura que ningún cambio de fase ocurra a través del origen, ya que el origen del diagrama I/Q indica que no hay una señal RF presente. Si un cambio de fase pasa por el origen, la señal RF sería pulsada brevemente entre encendido y apagado.

Transiciones en una señal $\pi/4$ DQPSK

En la figura 1.8 se muestran todas las transiciones de fase posibles de la modulación $\pi/4$ DQPSK. Podemos ver que ocho estados de fase son posibles, pero sólo cuatro son posibles en un instante determinado.

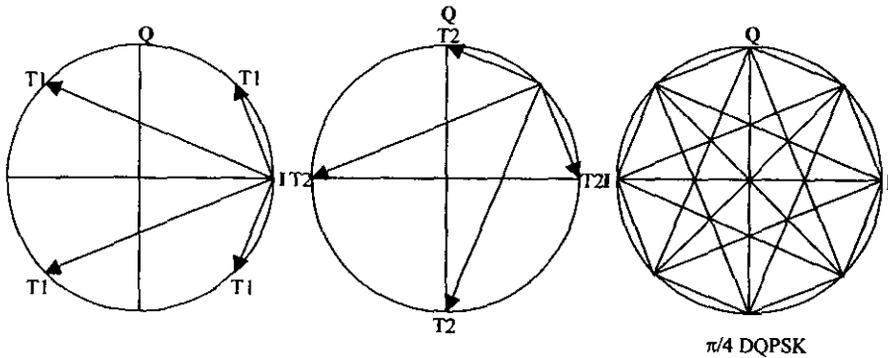


Figura 1.8. Transiciones de fases para la modulación $\pi/4$ DQPSK.

- El diagrama de la izquierda muestra los estados de fase posibles que pueden ocurrir en el tiempo T1.

- El diagrama del centro muestra los estados de fase posibles en el tiempo T2.
- El diagrama de la derecha muestra todas las transiciones de fase posibles.

Nótese que ninguna de ellas pasa por el origen. Si se tratara de un sistema DQPSK simple, la transición de 0° a 180° pasaría exactamente por el origen, lo cual resultaría en un valor de señal igual a cero.

1.7. MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM)

La modulación de frecuencia es aquella en la cual la amplitud de la señal portadora modulada se mantiene constante, mientras su frecuencia es variada por la señal moduladora. Como se puede observar en la figura 1.9, la amplitud de la señal portadora modulada en frecuencia no cambia, pero su frecuencia aumenta y disminuye de acuerdo con las variaciones de amplitud de la señal moduladora.

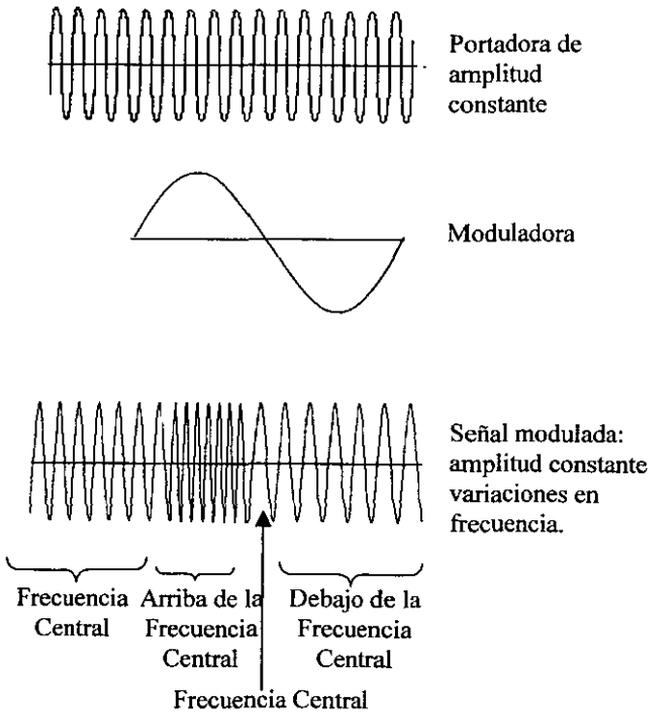


Figura 1.9. Modulación de Frecuencia (FM).

La frecuencia que tenía la señal portadora antes de la modulación se llama frecuencia central, la señal portadora modulada varía su frecuencia arriba y abajo de esta frecuencia central. La frecuencia de la señal portadora oscila según la frecuencia de la señal moduladora, esto es, si aplicamos una moduladora de 100 Hz, la señal modulada se desplaza arriba y debajo de su frecuencia central cien veces en un segundo.

El rango o variación de la frecuencia de la señal portadora desde su frecuencia central hasta su frecuencia más alta, correspondiente a la amplitud máxima de la señal moduladora; o bien desde la frecuencia más baja, correspondiente a la amplitud mínima de la señal moduladora, hasta su frecuencia central, se denomina desviación máxima de frecuencia de la señal portadora mientras mayor sea la amplitud de la señal moduladora, mayor es la desviación de frecuencia de la señal portadora modulada en frecuencia.

De lo anterior podemos concluir que la desviación de frecuencia de la señal portadora nos proporciona la amplitud que tiene la señal moduladora.

Debido a que en la modulación de frecuencia la amplitud de la señal portadora se mantiene constante, la principal ventaja de esta modulación radica en que no es afectada fácilmente por los fenómenos atmosféricos, señales electrónicas e interferencias ocasionadas por aparatos eléctricos, ya que estos ruidos tienden a modular la señal portadora en amplitud.

Una vez concluida la revisión de los aspectos generales de la telefonía móvil, en el siguiente capítulo se iniciará con el análisis de los canales de control, tráfico y voz de un sistema celular.

CAPÍTULO 2 LOS CANALES DE CONTROL, TRÁFICO Y VOZ

La comunicación entre una estación base y una estación móvil, antes y durante una llamada, es realizada por medio de los canales de control, tráfico y voz. En este capítulo se hace una descripción de estos canales y de la información básica que éstos pueden llevar.

2.1. CANAL DE CONTROL

El Canal de Control permite la comunicación necesaria entre la estación base y la estación móvil, cuando esta última no está en conversación. Se trata de un flujo de datos continuo a todas las estaciones móviles que se encuentran dentro del área de cobertura de una estación base.

Dependiendo del sentido de la transmisión, el canal de control se denomina de dos formas. Canal de Control de Bajada (*Forward Control Channel*), cuando la transmisión se realiza de la estación base a la estación móvil; y Canal de Control de Subida (*Reverse Control Channel*), para la transmisión de la estación móvil a la estación base, tal como se indica en la figura 2.1.

A través del canal de control se realizan las siguientes cuatro tareas principales entre la estación base y la estación móvil: monitoreo, *page*, acceder y originar.

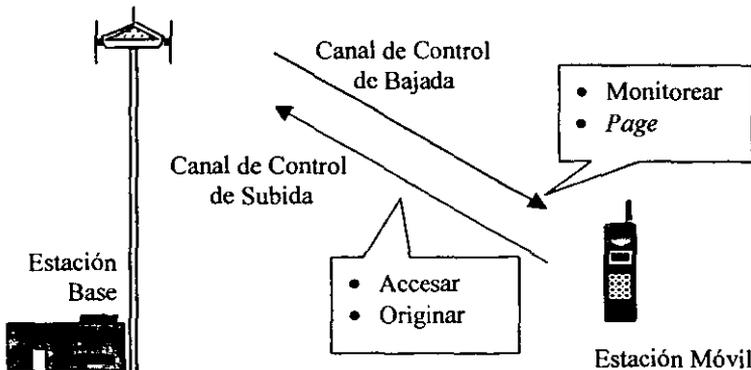


Figura 2.1. Tareas del canal de control.

- **Monitorear:** la estación móvil recibe, a través del canal de control de bajada, información referente al estado del sistema celular. Esta información es recibida siempre que la estación móvil se encuentre encendida y dentro del área de cobertura de una estación base.
- **Page:** esta tarea es realizada para la localización de una estación móvil, enviando a través del canal de control de bajada su información de identidad. Esta localización es hecha por una estación base para indicar a la estación móvil que tiene una llamada o que se le está enviando información específica.
- **Accesar:** se realiza para administrar el acceso de una estación móvil al sistema celular, respondiendo de esta forma a un mensaje *page* a través del canal de control de subida.
- **Originar:** esta tarea es realizada para originar una llamada desde una estación móvil, enviando su información de identidad a la estación base a través del canal de control de subida.

La señalización que tenemos en la comunicación entre la estación base y la estación móvil está basada en transmisión y recepción de mensajes digitales o tonos de frecuencia.

Cuando se opera en modo digital, la información enviada entre la estación base y la estación móvil está organizada en forma de mensajes. Hay dos tipos de mensajes: mensajes de orden (*order messages*) y mensajes de reconocimiento (*acknowledgment messages*).

En un mensaje de orden se le indica al receptor que realice una acción determinada; cuando el receptor reconoce o acepta este mensaje de orden regresa un mensaje de reconocimiento, en caso contrario envía un mensaje de no reconocimiento (*no acknowledgment message*). Dentro de este trabajo, si un mensaje tiene "Ack" como parte de su nombre se trata de un mensaje de reconocimiento, de otra forma se trata de un mensaje de orden.

Cuando operamos en modo analógico las peticiones de acciones las logramos a partir de tonos de frecuencia y/o envío de mensajes cortos entre la estación base y la estación móvil.

2.1.1. El Canal de Control Digital

En el estándar IS-136 se define la estructura de un DCCH (*Digital Control Channel*, Canal de Control Digital) como el conjunto de canales de control transmitidos en RF, modulados en $\pi/4$ DQPSK, usados para transmitir información de control y datos de usuario entre la estación base y la estación móvil.

El canal de control digital está formado por los canales RDCCH (*Reverse Digital Control Channel*, Canal de Control Digital de Subida) y por el FDCCH (*Forward Digital Control Channel*, Canal de Control Digital de Bajada) mostrados en la figura 2.2. El RDCCH consiste de un subcanal RACH (*Random Access Channel*, Canal de Acceso Aleatorio), mientras que el FDCCH está compuesto por los subcanales SPACH (*Short Messages Service Point-to-Point, Paging and Access Response Channel*, Servicio de Mensajes Cortos Punto a Punto, Localización y Canal de Respuesta al Acceso), BCCH (*Broadcast Control Channel*, Canal de Control de Difusión), SCF (*Shared Channel Feedback*, Canal Compartido Retroalimentado) y de slots reservados.

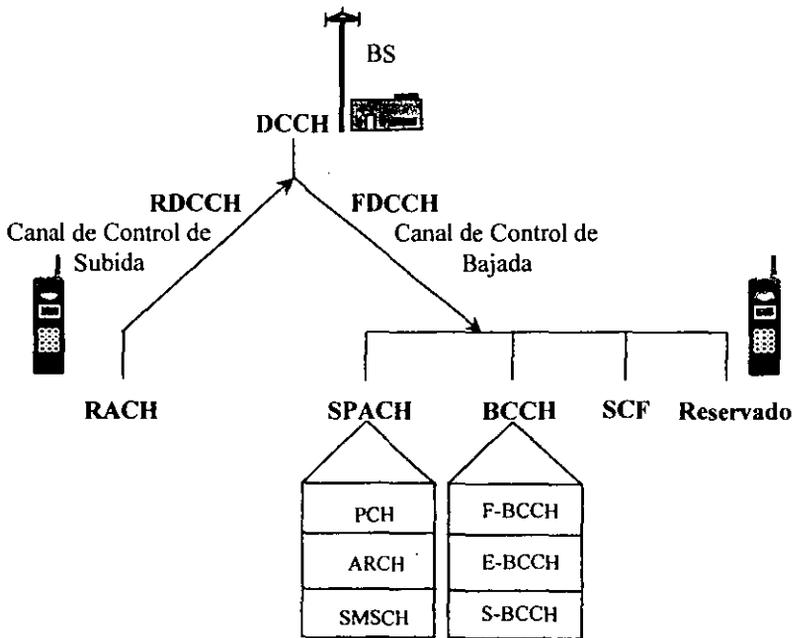


Figura 2.2. Estructura del canal de control digital.

RACH

La tarea de este subcanal de control RACH es la de solicitar acceso al sistema celular, mediante este canal enviamos los mensajes necesarios para poder hacer el registro de una estación móvil al sistema y acceder a éste. El RACH tiene los siguientes atributos: unidireccional de subida, compartido, punto a punto, reconocido (Ack) o no reconocido (no

Ack). Cuando es reconocido usa una retroalimentación con un subcanal compartido del canal FDCCH.

SPACH

El subcanal SPACH es usado para enviar información a una estación móvil específica, esta información es relacionada a servicios de mensajes cortos, localización y para proporcionar un canal que lleve respuestas a las peticiones de acceso por parte de la estación móvil. Para lo descrito anteriormente, este canal está subdividido en otros tres subcanales: PCH (*Paging Channel*, Canal de Localización), ARCH (*Access Response Channel*, Canal de Respuesta al Acceso) y SMSCH (*Short Message Service Channel*, Canal de Servicio de Mensajes Cortos), como se describe a continuación.

- PCH: es utilizado para enviar mensajes de *page* y órdenes a una estación móvil. Los mensajes PCH son repetidos en cada *superframe*, sus atributos son: unidireccional de bajada, compartido, punto a punto y no Ack.
- ARCH: es un subcanal en el cual la estación móvil se coloca una vez terminada exitosamente una petición de acceso al sistema. El ARCH puede ser usado para transportar tareas a otros recursos u otras respuestas a los intentos de acceso de la estación móvil. Los mensajes del ARCH pueden ser enviados en *slots* de SPACH ociosos, por ejemplo cuando no hay mensajes de *page*. Sus atributos son: unidireccional de bajada, compartido, punto a punto, Ack o no Ack.
- SMSCH: este subcanal de control es usado para liberar mensajes cortos a una estación móvil específica en el entorno de servicio de mensajes cortos (SMS, *Short Message Service*); estos mensajes pueden ser enviados en múltiples *superframes*. Sus atributos son: unidireccional de bajada, compartido, punto a punto y Ack ó no Ack.

BCCH

El BCCH es recibido por las estaciones móviles dentro del área de cobertura de una estación base y es usado para hacer referencia a los subcanales F-BCCH, E-BCCH y S-BCCH (*Fast, Extended y SMS Broadcast Control Channels*, Canales de Control Rápido, Extendido y SMS de Difusión).

Estos tres subcanales son usados para llevar información genérica relacionada al sistema celular. Los atributos para cada uno de estos tres subcanales son: unidireccional de bajada, compartido, punto a multipunto y Ack o no Ack.

- F-BCCH , E-BCCH y S-BCCH

El subcanal F-BCCH es usado para difundir parámetros de estructura del DCCH y parámetros de información que las estaciones móviles deben reconocer para acceder al sistema celular. Los mensajes de F-BCCH son repetidos en cada *superframe*.

El E-BCCH lleva información menos crítica para las estaciones móviles que la del F-BCCH. Este canal se puede extender sobre múltiples *superframes*.

El canal S-BCCH es usado para la difusión de Servicio de Mensajes Cortos a todas las estaciones móviles, dentro del área de cobertura de la estación base.

SCF

El SCF es usado para soportar la operación del Canal de Acceso Aleatorio (RACH).

Canal Reservado

Este subcanal está reservado para usos definidos a futuro. Definirlo asegura compatibilidad con la primera generación de estaciones móviles IS-136.

2.1.2. El Canal de Control Analógico

El ACC (*Analog Control Channel*, Canal de Control Analógico) es un canal usado para la transmisión de información de control entre una estación base y una estación móvil. El ACC está formado por un canal de control de bajada (FOCC) y uno de subida (RECC).

- FOCC (*Forward Analog Control Channel*, Canal de Control Analógico de Bajada): es el canal usado para enviar a las estaciones móviles información relacionada al sistema, así como información específica a una estación móvil en caso de presentarse una orden de *page* o para dar respuesta a su petición de acceso al sistema celular.
- RECC (*Reverse Analog Control Channel*, Canal de Control Analógico de Subida): es el canal de control analógico usado para enviar información relacionada a peticiones de acceso de la estación móvil a una estación base.

2.2. CANAL DE TRÁFICO DIGITAL

El DTC (*Digital Traffic Channel*, Canal de Tráfico Digital) se define como el conjunto de canales transmitidos en RF usando modulación $\pi/4$. DQPSK, que son

empleados para la transmisión de información de usuario y mensajes de control entre la estación base y la estación móvil.

El DTC está constituido por dos subcanales de información, usados para transportar información de usuario y de control; uno para la comunicación de la estación base a la estación móvil FDTC (*Forward Digital Traffic Channel*, Canal de Tráfico Digital de Bajada) y otro para la comunicación en sentido contrario RDTC (*Reverse Digital Traffic Channel*, Canal de Tráfico Digital de Subida). Ambos subcanales tienen una estructura similar, como muestra la figura 2.3, tanto el FDTC como el RDTC tienen dos subcanales de control asociados, el SACCH (*Slow Associated Control Channel*, Canal de Control Asociado Lento) y el FACCH (*Fast Associated Control Channel*, Canal de Control Asociado Rápido).

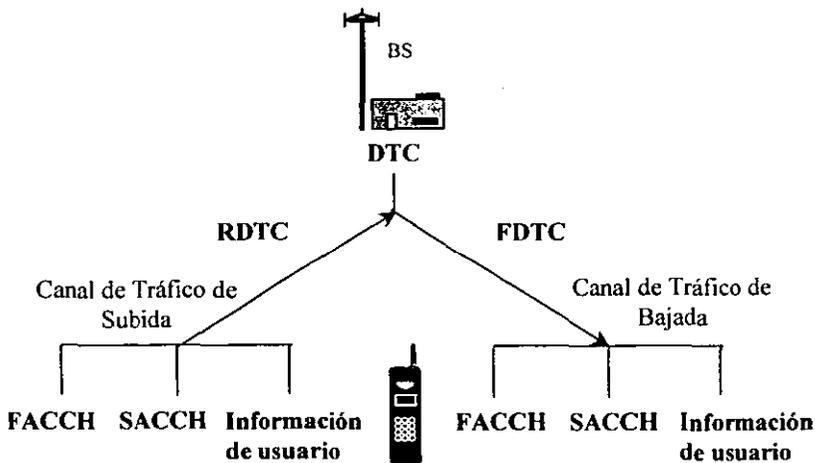


Figura 2.3. Estructura del canal de tráfico digital.

- SACCH: es un subcanal usado para el intercambio de mensajes de señalización entre la estación base y la estación móvil. Un número arreglado de bits es colocado para el SACCH en cada *slot* TDMA. El SACCH se usa para transmitir mensajes no urgentes tales como las mediciones de calidad de canal para MAHO (*Mobile Assisted Hand-Off*) y los niveles de intensidad de señal (los cuales serán explicados en el Capítulo 3).
- FACCH: este subcanal es usado para el intercambio de mensajes de señalización entre la estación base y la estación móvil. Se trata de información muy importante, y como tal

está codificada, esto significa que se tiene un gran potencial de corrección de errores para tratar de asegurar que la información sea recibida sin errores.

El FACCH puede transmitir lo mismo que puede transmitir el SACCH, además de información extra como mensajes de conexión, liberación de llamada, datos DTMF, mensaje de medición para *hand-off*; para transmitir esta información extra, se realiza una interrupción imperceptible en los datos de voz regulares.

2.3. CANAL DE VOZ ANALÓGICO

El AVC (*Analog Voice Channel*, Canal de Voz Analógico) es un canal en el cual una conversación ocurre y breves mensajes pueden ser enviados entre una estación base y una estación móvil. El AVC está formado por los canales de bajada y de subida.

El FVC (*Forward Analog Voice Channel*, Canal de Voz Analógico de Bajada) es usado para llevar una conversación de la estación base a una estación móvil. El RVC (*Reverse Analog Voice Channel*, Canal de Voz Analógico de Subida), es usado para transportar una conversación de una estación móvil a la estación base.

2.4. MENSAJES EN EL CANAL DE CONTROL DE BAJADA

Hay tres tipos de mensajes que pueden ser transmitidos en el canal de control de bajada analógico o digital (FOCC o FDCCH), estos son:

- Mensajes de encabezado (*Overhead Messages*).
- Mensaje de información de control de llenado (*Control Filler Overhead Message*).
- Mensajes de control de estación móvil (*Mobile Station Control Message*).

Mensajes de encabezado

Los mensajes de encabezado son repetidos continuamente y transmitidos por la estación base a todas las estaciones móviles dentro de su área de cobertura. Estos mensajes al ser repetidos estructuran lo que es llamado tren de mensajes de encabezado.

El mensaje de encabezado en el canal de control de bajada está compuesto por el SPOM (*System Parameter Overhead Message*, Mensaje de Encabezado de Parámetros del Sistema) y el mensaje de acción global.

SPOM

Una vez que la estación móvil ha seleccionado el canal de control más fuerte y está en estado de campo o monitoreo, recibe dentro de los primeros segundos un SPOM en el cual se incluye la siguiente información relacionada al sistema celular.

- **SID** (*System Identification*, Identificador de Sistema): Indica el sistema celular al cual se ha accedido, al ser comparado con el SID almacenado en el NAM (*Number Assignment Module*, Módulo de Asignación de Número) de la estación móvil, nos indica si está operando dentro del área en la que fue dada de alta (*Home*) o si está operando en una diferente (*Roam*).
- **PCI** (*Protocol Capability Indicator*, Indicador de capacidad de protocolo): Es un campo de 1 bit de longitud en la primera palabra del SPOM, cuando se habilita en uno indica que la estación base es capaz de soportar una operación en modo digital.
- **N**: Máximo Número de Canales de *paging* o localización que pueden ser accedidos en el sistema celular.
- **FIRSTCHP**: Primer Canal de *Paging*.
- **LASTCHP**: Último Canal de *Paging*.

Mensajes de Acción Global

Estos mensajes son transmitidos por la estación base en el canal de control de bajada y son enviados a la estación móvil si alguna acción especial es requerida, dentro de las acciones tenemos las siguientes:

- **Parámetros de Tipo de Acceso**: Indican si la estación base debe verificar el estado de ocupado o desocupado, antes de acceder al sistema celular mediante el canal de control de subida analógico o digital.
- **Rebúsqueda**: Le indica a la estación móvil que haga una nueva búsqueda de los canales para localización.
- **Actualización de registro**: Es usado para indicar un registro periódico de la estación móvil y actualizarlo.
- **Control de sobrecarga**: Impide acceso en el canal de subida cuando hay un alto grado de congestión en el sistema celular.

Mensaje de Información de Control de Llenado

Este mensaje (del inglés *Control Filler Overhead Message*) es transmitido por la estación base en el canal de control de bajada. Permite la sincronización cuando no hay otros mensajes para ser enviados, además de especificar el nivel de potencia usado por la estación móvil cuando accesa al sistema celular.

Contiene el CMAC (*Control Mobile Attenuation Code*, Código de Atenuación Móvil de Control) que define el nivel de potencia en el que la estación móvil va a transmitir una vez asignado su canal de tráfico o voz.

Mensajes de Control de Estación Móvil

Este tipo de mensajes de orden va dirigido a una estación móvil específica usando su MIN (*Mobile Identification Number*, Número de Identificación del Móvil) asignado por el operador del sistema celular, en el cual el usuario tiene suscrito su teléfono móvil.

Estos mensajes pueden contener la siguiente información:

- PAGE: informa al móvil que hay una llamada entrante.
- CHAN: indica el número de canal de voz en el que la llamada será establecida.
- SCC: informa del código de SAT (*Supervisory Audio Tone*, Tono de Supervisor de Audio) en el canal de voz designado.

2.5. MENSAJES EN EL CANAL DE CONTROL DE SUBIDA

Como ya se indicó anteriormente, los canales de control de subida analógico y digital (RECC y RDCCH) son los canales que la estación móvil utiliza para acceder al sistema celular, ésta tarea la realiza mediante un proceso llamado registro, donde la estación móvil envía su "identidad" al sistema. El ESN (*Electronic Serial Number*, Número de Serie Electrónico) y la información almacenada en el NAM de la estación móvil son usados en este proceso.

Número de Serie Electrónico

El ESN es un número binario de 32 bits que identifica de forma única a una estación móvil en cualquier sistema celular. Éste debe ser proporcionado por el fabricante y no ser alterable por algún usuario común. Los circuitos que contienen al ESN deben de aislarlo de cualquier aspecto que lleve a un uso fraudulento y protegerlo. La asignación de bits del ESN se muestra la figura 2.4.

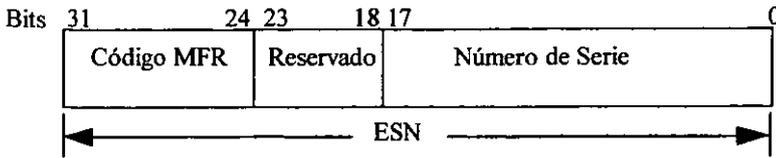


Figura 2.4. Estructura del ESN.

Los fabricantes deben de asignar un código MFR (*Manufacturer's Code*, Código de Fabricante) dentro de los 8 bits más significativos (del bit 31 al 24) de los 32 bits del ESN. Los bits del 23 al 18 deberán de ser reservados y los bits del 17 al 0 deberán ser asignados de forma única por el fabricante.

Módulo de Asignación de Número

El NAM es un espacio de memoria de una E²PROM alojada en la estación móvil y contiene detalles acerca de ésta y el sistema celular al cual está suscrito. La información específica contenida en el NAM es programada por el operador del sistema celular para asignar las características particulares de "identidad" a la estación móvil. Este módulo contiene usualmente la siguiente información:

- **MIN** (*Mobile Identification Number*, Número de Identificación de la Estación Móvil): el MIN es un número de 34 bits almacenado en el NAM. Cuando un teléfono móvil es activado en un sistema celular le es asignado un número de 10 dígitos, de este número en formato decimal el teléfono móvil deriva el MIN binario aplicando un algoritmo que cambia los 10 dígitos decimales a un número de 34 bits. El MIN está dividido en dos segmentos fundamentales.

MIN1: tiene como longitud 24 bits derivados de los 7 dígitos del número telefónico.

MIN2: tiene como longitud 10 bits derivados de los 3 dígitos del código de área.

Algunas veces el MIN1 y el MIN2 están englobados en un solo registro de 10 dígitos de longitud. La asignación de bits del MIN se muestra en la figura 2.5.

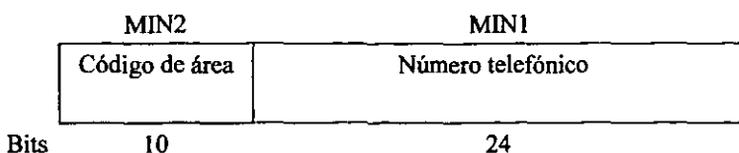


Figura 2.5. Estructura del MIN.

- **SID:** Se trata de un número de 15 bits que debe estar almacenado en el NAM de la estación móvil y es usado para identificar la región donde fue suscrita al sistema celular. La asignación de bits del SID se muestra a figura 2.6:

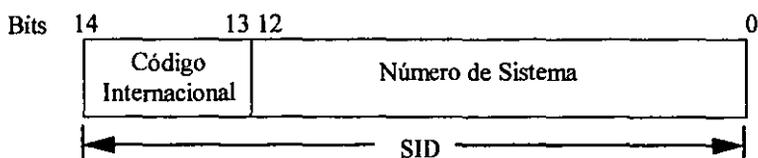


Figura 2.6. Estructura del SID.

Los bits 14 y 13 se refieren a los códigos internacionales y deben de estar asignados como se muestra en la tabla 2.1.

| BIT 14 | BIT 13 | País |
|--------|--------|----------------|
| 0 | 0 | Estados Unidos |
| 0 | 1 | Otros países |
| 1 | 0 | Canadá |
| 1 | 1 | México |

Tabla 2.1. Bits 13 y 14 en el SID.

Los Bits 12 al 0 deberán ser asignados para un único sistema celular.

- ACCOLC (*Access Overload Class*, Clase de Acceso en Sobrecarga): el registro de Clase de Acceso en Sobrecarga tiene una longitud de 4 bits e impide el acceso de la estación móvil al sistema celular, cuando se encuentra sobrecargado.
- PRSID (*Preferred System*, Selección de Sistema Preferido): identifica cual es la subbanda preferencial para la estación móvil, ya sea en la banda celular o la banda PCS.
- FIRSTCHP (*First Paging Channel*, Primer Canal de *Paging* o Localización): contiene los dos primeros canales de *paging* o localización (FIRSTCHP_{pri} y FIRSTCHP_{sec}) que deben estar almacenados en el NAM de la estación móvil y son usados para identificar el inicio de búsqueda para encontrar un canal de control analógico o digital, tienen longitud de 11 bits.
- SCM (*Station Class Mark*, Marca de Clase de Estación): es un código de cinco bits mostrado en la tabla 2.2 que es almacenado en el NAM de la estación móvil e indica las características de su transmisión.

| Clase de Potencia | SCM | Transmisión | SCM | Ancho de Banda (Bandwidth) | SCM |
|-------------------|-------|-------------|-------|----------------------------|-------|
| Clase I | 0XX00 | Continua | XX0XX | 20 MHz | X0XXX |
| Clase II | 0XX01 | Discontinua | XX1XX | 25 MHz | X1XXX |
| Clase III | 0XX10 | | | | |
| Clase IV | 0XX11 | | | | |
| Clase V | 1XX00 | | | | |
| Clase VI | 1XX01 | | | | |
| Clase VII | 1XX10 | | | | |
| Clase VIII | 1XX11 | | | | |

Tabla 2.2. Marcas de clase de estación móvil (Bits 4-0).

La clase de una estación móvil está relacionada con la potencia y las reducciones de nivel que pueden ser soportadas, más adelante, dentro de este capítulo se describirán a detalle estos dos aspectos.

2.6. MENSAJES EN EL CANAL DE TRÁFICO Y VOZ DE BAJADA

Los mensajes de control enviados en el canal de tráfico de bajada son intercalados con los datos de voz y están contenidos en los canales de control asociados FACCH y SACCH del DTC, descritos en la sección 2.2.1.

En el canal de voz analógico, el MSCM (*Mobile Station Control Message*, Mensaje de Control de la Estación Móvil) es el único mensaje transmitido por la estación base sobre el FVC, para indicarle a la estación móvil que se prepare a realizar un *hand-off*, esta información es transmitida a la estación móvil durante la conversación, interrumpiendo el audio y enviando un mensaje que puede contener las siguientes instrucciones:

- PSCC (*Present SAT Color Code*, Código de Color de SAT Presente): indica cual SAT se tiene asociado al presente canal de voz analógico.
- CHAN (*Channel Number*, Número de Canal de Voz): indica el nuevo canal de voz o tráfico al que se hará la conmutación en un *hand-off*.
- SCC (*SAT Color Code*, Código de Color de SAT): es usado en modo analógico e indica cual es el nuevo valor de SAT que se usará en el nuevo canal de voz después de realizado el *hand-off*.
- VMAC (*Voice Channel Mobile Attenuation Code*, Código de Atenuación del Canal de Voz): indica en que nivel de potencia trabajará la estación móvil en el nuevo canal de voz, después de realizado el *hand-off*.
- DMAC (*Digital Mobile Attenuation Code*, Código de Atenuación Digital): indica en que nivel de potencia trabajará la estación móvil en el nuevo canal de tráfico, después de realizado el *hand-off*.

2.7. MENSAJES EN EL CANAL DE TRÁFICO Y VOZ DE SUBIDA

Los mensajes de control enviados en el RDTC son intercalados con los datos de voz y están contenidos en los canales de control asociados FACCH y SACCH, descritos en la sección 2.2.1.

El ST (*Signaling Tone*, Tono de Señalización) es un tono generado por la estación móvil y transmitido a la estación base en el RVC para control en modo analógico. Debe ser un tono de 10 kHz ± 1 Hz y producir una desviación en frecuencia nominal de 8 ± 0.8 kHz. Dependiendo de la duración de este tono se realizan las siguientes acciones:

- Un ST continuo indica que la estación móvil está timbrando después de recibir una orden de alerta.
- Un ST de 1.8 s indica que se ha presionado la tecla de END y la llamada ha concluido.
- Un ST de 400 ms indica el inicio de una llamada, cuando la tecla SND ha sido presionada.
- Un ST de 50 ms indica que la estación móvil va a cambiar de canal de voz una vez que ha recibido una orden de *hand-off*.

2.8. POTENCIA DE SALIDA Y CONTROL DE POTENCIA

En esta sección se indicarán los diferentes niveles de potencia que son designados por la estación base a una estación móvil, mediante la indicación del MAC en el canal de control de bajada, antes de iniciar con una conversación o hacer un *hand-off*.

Todas las estaciones móviles deben ser capaces de reducir o incrementar la potencia bajo comando de la estación base, la cual puede especificar 8 niveles de potencia que van del 0 al 7, para las estaciones móviles designadas como clase I, II y III. Por otro lado, las estaciones móviles de la clase IV deben poder cambiar sus niveles en un rango de 0 a 10. El nivel de potencia seleccionado depende del nivel de intensidad de señal (RSSI).

Una estación móvil emplea el código de atenuación CMAC para indicarle a la estación base los niveles de potencia que puede operar y está implícito en la marca de clase de estación (SCM). La estación base designa los niveles de potencia empleando los códigos de atenuación DMAC para un canal de tráfico digital y el VMAC para un canal de voz analógico.

2.8.1. Reducciones de Potencia en la Banda Celular

La potencia efectiva radiada (ERP, *Effective Radiated Power*) es usada para definir un promedio de potencia en la transmisión, en el caso digital de las ráfagas de datos transmitidas. La potencia nominal para cada clase de estación móvil debe ser como se muestra a continuación:

- Clase I 6 dBW (4.0 W)
- Clase II 2 dBW (1.6 W)
- Clase III -2 dBW (0.6 W)
- Clase IV -2 dBW (0.6 W)

Las Clase V, Clase VI, Clase VII, y Clase VIII están reservadas para futuras definiciones. La clase IV está disponible sólo en estaciones móviles duales para la parte de transmisión digital. La ERP con respecto a la antena para cualquiera de las clases de estaciones móviles no debe exceder los 8 dBW (6.3 W).

Todos los transmisores de las estaciones móviles clase I, II, III y IV deben ser capaces de hacer reducciones de potencia como respuesta a la orden de la estación base, especificando ésta el nivel de potencia de 0 a 7.

Los niveles de 0 al 7 deben mantenerse dentro de un rango de +2 dB/-4 dB de su valor nominal en una temperatura de -30°C a +60°C. Un cambio de nivel de potencia eleva o reduce la potencia en 4 dB como se muestra en la tabla 2.3.

| Nivel de Potencia de la Estación Móvil (PL) | Código de Atenuación del Móvil (MAC) | ERP Nominal (dBW) por Potencia de Clase de Estación Móvil | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|---|-----|-----|-----|---|----|-----|------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| 0 | 0000 | 6 | 2 | -2 | -2 | • | • | • | • |
| 1 | 0001 | 2 | 2 | -2 | -2 | • | • | • | • |
| 2 | 0010 | -2 | -2 | -2 | -2 | • | • | • | • |
| 3 | 0011 | -6 | -6 | -6 | -6 | • | • | • | • |
| 4 | 0100 | -10 | -10 | -10 | -10 | • | • | • | • |
| 5 | 0101 | -14 | -14 | -14 | -14 | • | • | • | • |
| 6 | 0110 | -18 | -18 | -18 | -18 | • | • | • | • |
| 7 | 0111 | -22 | -22 | -22 | -22 | • | • | • | • |

MODO DUAL ÚNICAMENTE

| | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-----|-----|------------|---|---|---|---|
| 8 | 1000 | -22 | -22 | -22 | -26 ± 3 dB | • | • | • | • |
| 9 | 1001 | -22 | -22 | -22 | -30 ± 6 dB | • | • | • | • |
| 10 | 1010 | -22 | -22 | -22 | -34 ± 9 dB | • | • | • | • |

Tabla 2.3. Niveles de potencia nominal en estaciones móviles en la banda celular.

Los tres bits menos significativos del MAC son usados en el campo del VMAC, los 4 bits del MAC son usados en el campo del DMAC.

2.8.2. Reducciones de Potencia en la Banda PCS

La potencia nominal para cada clase de estación móvil en banda PCS debe ser como se muestra a continuación:

- Clase II 0 dBW (1.0 W)
- Clase IV -2 dBW (0.6 W)

Las Clase III, Clase V, Clase VI, Clase VII, y Clase VIII están reservadas para futuras definiciones. La clase IV está disponible sólo en estaciones móviles duales para la parte de transmisión digital. En banda PCS no está definida una Clase I. Todos los transmisores de las estaciones móviles clase II, III y IV deben ser capaces de hacer reducciones de potencia como respuesta a la orden de la estación base, especificando ésta el nivel de potencia de 0 a 10.

Los niveles de 0 al 7 deben mantenerse dentro de un rango de +2 dB/-4 dB de su valor nominal, en una temperatura de -30°C a +60°C. Un cambio de nivel de potencia eleva o reduce la potencia en 4 dB como se muestra en la tabla 2.4. Los niveles de 8 al 10 deben mantenerse dentro del rango mostrado en la misma tabla.

| Nivel de Potencia de la Estación Móvil | Código de Atenuación Digital del Móvil (DMAC) | ERP Nominal (dBW) por Potencia de Clase de Estación Móvil | | | | | | | |
|--|---|---|-----|------------|---|----|-----|------|--|
| | | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | |
| 0 | 0000 | 0 | • | -2 | • | • | • | • | |
| 1 | 0001 | 0 | • | -2 | • | • | • | • | |
| 2 | 0010 | -2 | • | -2 | • | • | • | • | |
| 3 | 0011 | -6 | • | -6 | • | • | • | • | |
| 4 | 0100 | -10 | • | -10 | • | • | • | • | |
| 5 | 0101 | -14 | • | -14 | • | • | • | • | |
| 6 | 0110 | -18 | • | -18 | • | • | • | • | |
| 7 | 0111 | -22 | • | -22 | • | • | • | • | |
| 8 | 1000 | -26 ± 3 dB | • | -26 ± 3 dB | • | • | • | • | |
| 9 | 1001 | -30 ± 6 dB | • | -30 ± 6 dB | • | • | • | • | |
| 10 | 1010 | -34 ± 9 dB | • | -34 ± 9 dB | • | • | • | • | |

Tabla 2.4. Niveles de potencia nominal en estaciones móviles en la banda PCS.

Todas las clases de estaciones móviles en banda PCS deben responder a la orden DMAC, colocando su potencia de transmisión en el nivel adecuado respecto a un previo nivel de potencia de la estación móvil.

2.9. SUPERVISIÓN Y REUSO DE FRECUENCIAS

El SAT es un tono continuo que supervisa una transmisión en modo analógico, además de ser el medio por el cual se puede implementar el reuso de frecuencias para dar mayor capacidad al sistema celular, en el modo digital tenemos como similar al DVCC, ambos son detallados a continuación.

SAT

El Tono de Supervisión de Audio SAT es generado y transmitido continuamente por la estación base y regresado por la estación móvil durante una conversación, puede tener 3 valores de frecuencia diferentes: 5970 Hz, 6000 Hz y 6030 Hz.

El nivel de señal a ruido de SAT es monitoreado por la MSC para determinar si la calidad de una llamada se ha deteriorado. Si el nivel de señal a ruido del SAT cae por debajo de un nivel establecido, la estación móvil será conmutada a otro canal mediante un *hand-off*.

La estación base suma el SAT a la transmisión de voz y la estación móvil debe detectar, filtrar y modular / demodular la señal de voz junto con este tono. La transmisión del SAT por la estación móvil debe ser suspendida durante la transmisión de mensajes en el canal de voz de subida, pero no debe ser suspendido cuando el ST es enviado. Si el SAT no es detectado durante la conversación, la supervisión no se realiza y la llamada termina. Con base en los límites de frecuencia mostrados en la tabla 2.5, la estación móvil debe determinar cual de los tres SAT's está siendo generado por la estación base.

| Frecuencia de la Señal Recibida | SAT seleccionado(Hz) | Límites (Hz) |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|
| $f \leq f_1$ | SAT no válido | $f_1 = 5955 \pm 5$ |
| $f_1 \leq f < f_2$ | 5970 | $f_2 = 5985 \pm 5$ |
| $f_2 \leq f < f_3$ | 6000 | $f_3 = 6015 \pm 5$ |
| $f_3 \leq f < f_4$ | 6030 | $f_4 = 6045 \pm 5$ |
| $f_4 \leq f$ | SAT no válido | |
| SAT no recibido | SAT no válido | |

Tabla 2.5. Asignación de SAT.

El SAT es usado también para hacer reuso de canales de voz dentro del área de cobertura de varias estaciones base. Durante una llamada, una estación base asigna un canal de voz y una de las tres frecuencias de SAT; al tener otros dos valores de SAT disponibles, otra estación base puede usar el mismo canal de voz con alguno de estos dos niveles de SAT, a su vez una tercera puede hacer lo mismo con el tercer SAT disponible, logrando con ello hacer el reuso de un mismo canal de voz, pero supervisado por SAT's diferentes. De esta forma se logra ampliar la capacidad en sistemas celulares donde los canales de voz no son suficientes para cubrir el tráfico de llamadas. Para asegurar que no haya interferencia debido a la asignación de un mismo canal, se pone como condición extra que el reuso de canales de voz se haga en estaciones base no adyacentes.

DVCC

El DVCC (*Digital Verification Color Code*, Código de Color para Verificación Digital) es un código de 8 bits que generan 256 valores diferentes usados para identificar de forma única a una estación base. El DVCC es usado para verificar e identificar una llamada durante una transmisión en modo digital; es asignado por la estación base y forma parte de la estructura de un *slot*, de tal forma que un mismo DVCC debe estar presente durante una llamada. Al igual que sucede con el SAT, ningún par de estaciones base adyacente deben tener el mismo DVCC, de esta forma se puede hacer una distinción entre canales de tráfico reusados. Un mapa de asignación de DVCC se puede observar en la figura 2.7, en contraste con el SAT, el DVCC tiene 256 valores de los cuales el 0 no es usado.

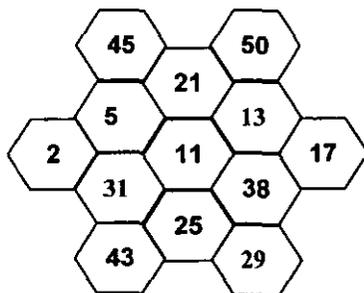


Figura 2.7. Mapa de asignación DVCC.

Con base en los conceptos de los canales de control, tráfico y voz descritos en este capítulo, en el siguiente capítulo se describirán los procesos de llamada, *hand-off* y de terminación de llamada que realiza una estación móvil

CAPÍTULO 3

EL PROCESO DE LLAMADA

En este capítulo se describe el proceso necesario para generar una llamada desde la red de telefonía pública hacia una estación móvil, así como el proceso que se realiza para originar una llamada desde la estación móvil. Por otro lado, se describen los diferentes tipos de transferencias de llamadas o *hand-off* entre las estaciones base, y por último se describe el proceso de terminación de llamada.

3.1. PROCESO DE LLAMADA A UNA ESTACIÓN MÓVIL

El proceso de una llamada iniciada en la red pública hacia una estación móvil requiere de varios pasos que a continuación se describen.

El proceso de llamada inicia cuando un usuario, desde un teléfono de la red pública marca hacia una estación móvil, esta llamada es recibida por la central de conmutación móvil, la cual envía la información hacia la estación base dentro del área en la que la estación móvil fue registrada por última vez, figura 3.1. La estación base transmite un mensaje de *page* por el canal de control de bajada, este mensaje de *page* contiene el MIN, con la información necesaria para la identificación de la estación móvil.

La estación móvil que se encuentra en estado de espera, monitoreando el canal de control más fuerte, recibe el mensaje de *page* y compara el MIN recibido con su propio MIN. Si la estación móvil reconoce su MIN, ésta envía un mensaje de respuesta a la estación base por el canal de control de subida. La estación base retransmite el mensaje de respuesta hacia la MSC y ésta selecciona un canal de voz o de tráfico libre dentro de la celda. Basados en el MPCÍ (*Mobile Station Protocol Capability Indicator*, Indicador de Capacidad de Protocolo de Estación Móvil) la MSC selecciona el canal analógico o digital, dependiendo de su disponibilidad.

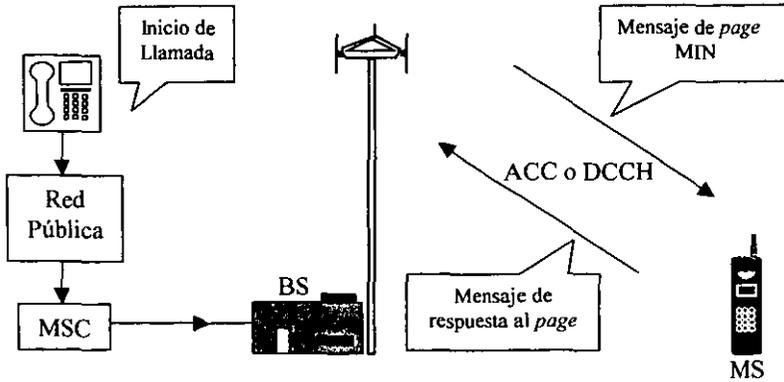


Figura 3.1. Proceso de llamada de la red pública hacia una estación móvil.

La MSC realiza una verificación de línea, MBLC (*Mobile Both-Way Line Check*, Verificación de Línea Bidireccional Móvil) para asegurar la continuidad de la ruta, hacia y desde la estación base, enviando un tono MBLC de 2 kHz hacia la estación base y ésta cierra el lazo con el tono MBLC. La MSC, al recibir el tono de regreso, da las instrucciones a la estación base de encender su transmisor y de indicarle a la estación móvil el canal de voz o tráfico seleccionado, así como el SAT para el caso analógico o el DVCC y el slot para el caso digital, como se muestra en la figura 3.2. Este mensaje es transmitido a la estación móvil a través del canal de control de bajada. Cuando la estación móvil recibe el mensaje se sintoniza en el canal de voz y espera por el SAT o por el DVCC.

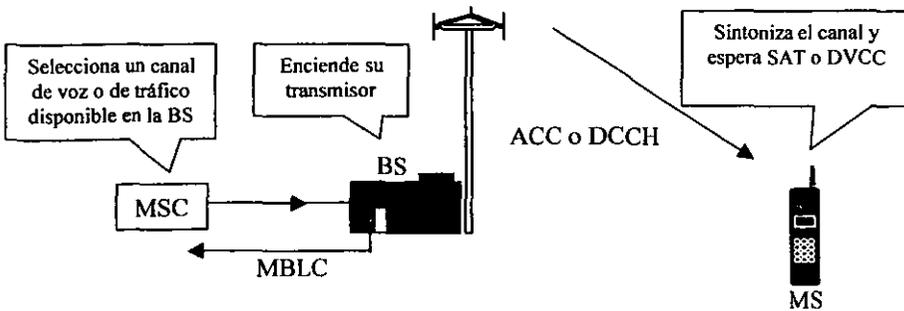


Figura 3.2. Proceso de selección, MBLC y sintonización de canal.

Cuando la estación móvil recibe el SAT o DVCC lo transmite de regreso por el canal de voz o tráfico de subida. La estación base mide el SNR (*Signal Noise Ratio*, Razón Señal Ruido) o el BER (*Bit Error Rate*, Tasa de Error de Bits), para el modo analógico o digital respectivamente. La relación señal ruido se mide con el propósito de recibir una señal relativamente libre de ruido, es decir, la señal recibida debe exceder el nivel de ruido por un margen dado. Para los sistemas de telefonía móvil este nivel es tomado como 12 dB para una recepción marginal y 30 dB para una buena calidad de conversación.

La calidad en un canal de tráfico digital es medida por la tasa de error de bits, si el BER es mayor a un 3% el teléfono es redirigido a otro canal de tráfico. La estación móvil debe determinar este estimado de error en bits, monitoreando el flujo de datos a la entrada de su decodificador. La información estimada del BER debe ser reportada como un código de 3 bits, dicha representación la tenemos mostrada en la tabla 3.1.

| Código de Bits | Intervalo BER (%) |
|----------------|---------------------|
| 000 | < 0.01 |
| 001 | 0.01 o menor de 0.1 |
| 010 | 0.1 o menor de 0.5 |
| 011 | 0.5 o menor de 1.0 |
| 100 | 1.0 o menor de 2.0 |
| 101 | 2.0 o menor de 4.0 |
| 110 | 4.0 o menor de 8.0 |
| 111 | ≥ 8.0 |

Tabla 3.1. Código de BER.

La MSC envía una orden de alerta a la estación base para que sea transmitida a la estación móvil. Esta orden de alerta es una instrucción que genera un tono de timbrado en la estación móvil. La estación móvil comienza a timbrar, esto se visualiza de manera gráfica en la figura 3.3. En el modo analógico, la estación móvil envía una señal de tono continuo ST de 10 kHz a la estación base. En el modo digital es enviado un mensaje de reconocimiento. La estación base detecta estas señales y espera a que la estación móvil responda. En modo analógico, la estación móvil contesta dejando de transmitir el tono continuo de ST. En modo digital, la estación móvil envía a la estación base un mensaje de conexión, a partir de ese momento se establece la conversación. Durante la llamada, el SAT o el BER están continuamente supervisando la calidad de la transmisión para detectar una condición de finalización de llamada o de un *hand-off*.

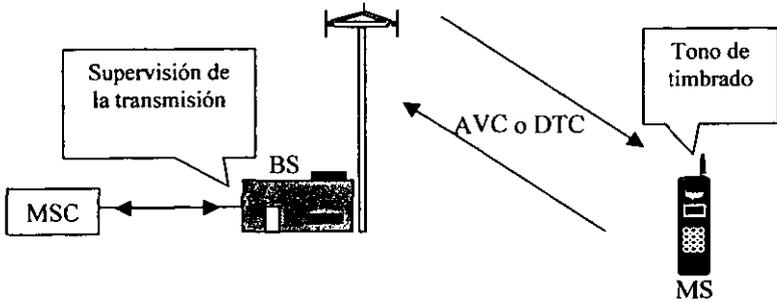


Figura 3.3. Conversación y supervisión de llamada.

3.2. PROCESO DE LLAMADA DESDE UNA ESTACIÓN MÓVIL

En esta sección se describe el proceso de llamada desde una estación móvil hacia otra estación móvil o hacia la red pública.

Antes de iniciar propiamente el proceso de llamada, la estación móvil se encuentra en un estado de espera, monitoreando el canal de control más fuerte. El proceso inicia cuando el usuario de la estación móvil hace una llamada marcando los dígitos correspondientes y presionando la tecla *SEND*, figura 3.4. En este momento la estación móvil envía a la estación base el mensaje de iniciación de llamada; este mensaje es una ráfaga de datos de 10 kbps que incluye el número telefónico marcado, el MIN y el ESN. El mensaje es enviado a través del canal de subida.

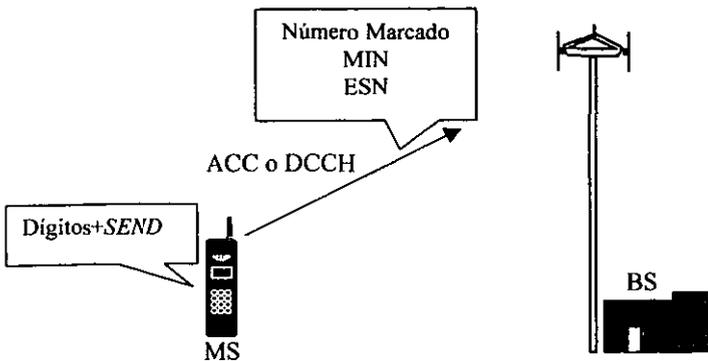


Figura 3.4. Proceso de iniciación de llamada desde una estación móvil.

La estación base recibe el mensaje de iniciación de llamada y lo retransmite a la central de conmutación móvil MSC. La MSC valida la información del usuario de la estación móvil y verifica el número telefónico marcado. Una vez validada la información, y basados en el MPCI, la MSC seleccionará un canal de tráfico digital o un canal de voz analógico que se encuentre disponible dentro de la estación base.

Al igual que en la sección 3.1, la central de conmutación móvil MSC realiza una verificación de la línea, MBLC, para asegurar la continuidad de la ruta hacia y desde la estación base, enviando un tono de 2 kHz hacia la estación base y ésta cierra el lazo regresando el tono MBLC. La MSC, al recibir el tono de regreso, le da la instrucción a la estación base de encender su transmisor. Este proceso se indica en la figura 3.5.

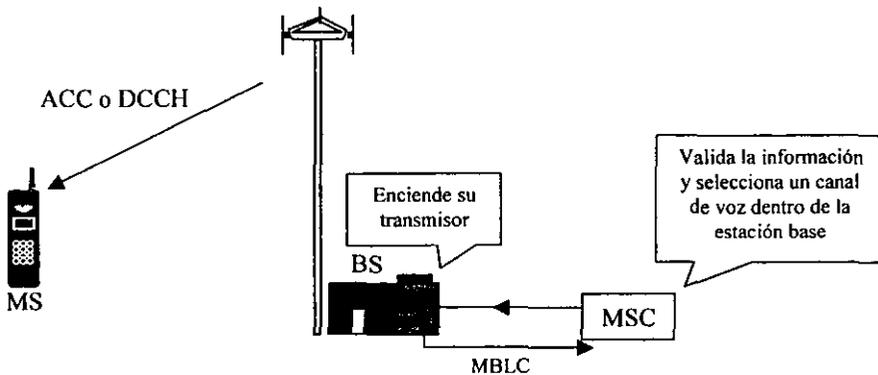


Figura 3.5. Proceso de validación, selección de canal y MBLC.

Terminada la verificación de la línea y encendido el transmisor de la estación base, la MSC le indica a la estación base dirigir a la estación móvil al canal de voz o tráfico seleccionado, así como el SAT para modo analógico o el DVCC y el *slot* para modo digital, como se muestra en la figura 3.6. Este mensaje es transmitido a la estación móvil a través del canal de control de bajada. Cuando la estación móvil recibe el mensaje se sintoniza en el canal de voz y espera por el SAT o por el DVCC; cuando éste es recibido, la estación móvil lo transmite de regreso por el canal de voz o tráfico de subida para que la estación base mida la relación señal ruido o la razón de error de bits, para el modo analógico o digital respectivamente, informándole a la MSC que la recepción es satisfactoria.

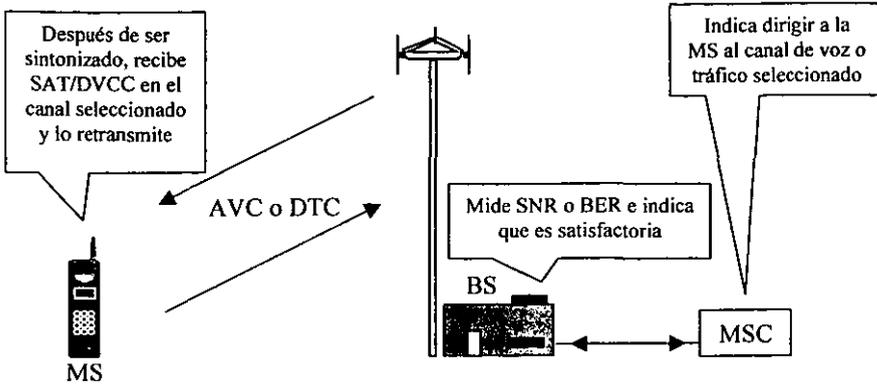


Figura 3.6. Sintonización al canal de voz seleccionado y determinación de SNR / BER.

La MSC selecciona una ruta e inicia la conexión de la llamada, para esto, un tono de control de timbrado le indica a la estación móvil que el teléfono al que se llama está timbrando. Para una llamada hacia la PSTN, el tono es generado por la central telefónica, mientras que en una llamada para otra estación móvil, el tono es generado por la MSC. El teléfono al que se llama contesta y la conversación es establecida. Durante la duración de la llamada, la calidad de la transmisión es supervisada continuamente por el SAT o el BER. La última parte del proceso se encuentra ilustrado en la figura 3.7.

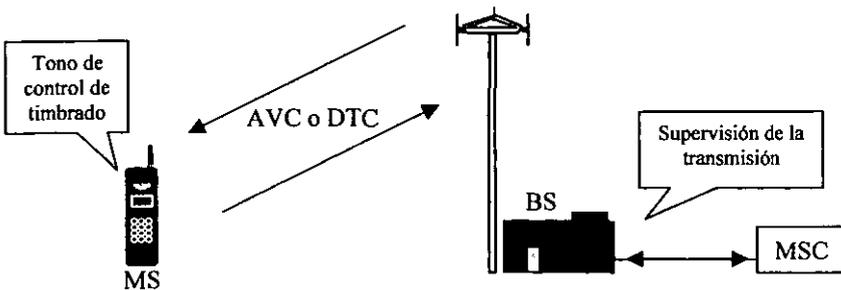


Figura 3.7. Timbrado y supervisión de la calidad de transmisión.

3.3. HAND-OFF ANALÓGICO

El *hand-off* consiste en que la estación base que está administrando una llamada, pasa el control de la misma a otra estación base, esto después de una serie de pasos que se llevan a cabo.

El *hand-off* inicia cuando la señal, monitoreada por la estación base, disminuye a un nivel inferior de cierto estándar de calidad. Esta calidad es determinada simplemente por la potencia de la señal y/o por la relación señal a ruido.

En la estación base hay un receptor con la función de monitorear a todas las estaciones móviles en uso y su señal. El tiempo de exploración generalmente es de 50 ms por canal. Este receptor de exploración puede ser un canal de voz o un canal dedicado a la exploración.

Durante la llamada la estación móvil está en conversación a través del canal de voz, cuando la estación móvil se acerca al límite de la zona de alcance de la estación base, el SAT indica que la calidad de transmisión de la llamada ha llegado a un nivel de calidad inaceptable, entonces la estación base manda a la MSC su medición y una petición de *hand-off*.

Una vez hecha la petición, la MSC pide a las estaciones base adyacentes los valores de la señal de la estación móvil, cada localizador de estación móvil en las estaciones base cercanas mandan sus mediciones para ese canal de voz, el localizador de móvil promedia las últimas diez mediciones del canal específico y lo almacena en memoria. La MSC compara las mediciones recibidas de las otras estaciones base y selecciona la estación base con el nivel de señal más fuerte, como es mostrado en la figura 3.8.

La MSC selecciona un canal de voz libre en la estación base elegida y efectúa un MBLC para asegurar la continuidad de la ruta hacia y desde la nueva estación base. La MSC le ordena a la nueva estación base que sintonice el canal de voz que la estación móvil está usando actualmente. Como se muestra en la figura 3.9, la nueva estación base recibe el SAT que la estación móvil está usando y verifica que la calidad de transmisión sea aceptable.

Cuando la MSC recibe la verificación, indica a la nueva estación base que regrese a su canal de voz normal. La estación base enciende su transmisor y manda su SAT correspondiente. La MSC manda una orden de *hand-off* a la estación móvil, esto a través del canal de voz actual.

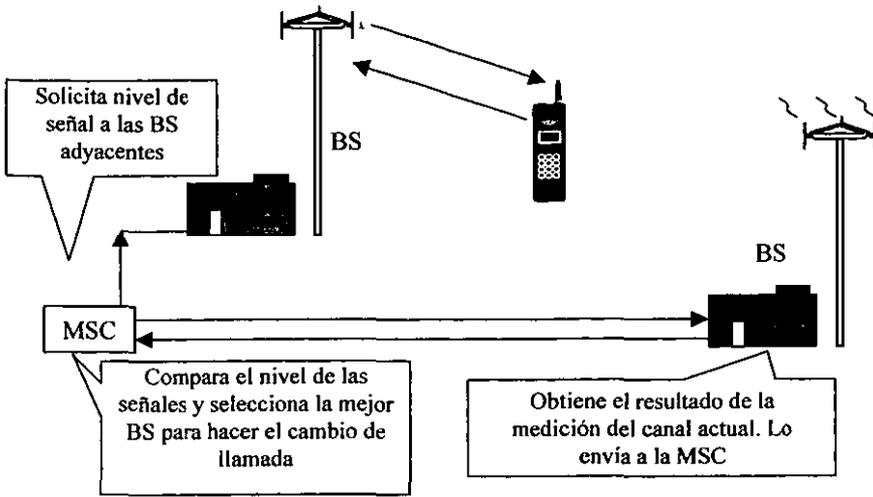


Figura 3.8. Medición de la señal, realizada por las estaciones base adyacentes.

La orden de *hand-off*, conteniendo la información referente al nuevo número de canal y el SAT, es enviada a la estación móvil cortando momentáneamente el audio de la conversación. La estación móvil recibe y reconoce la orden de *hand-off* enviando un tono de señalización ST de 50 ms. Por otro lado, al mismo tiempo que la orden de *hand-off* está siendo transmitida a la estación móvil, la estación base manda un mensaje de sincronización a la MSC, para conmutar la conversación al canal de la nueva estación base.

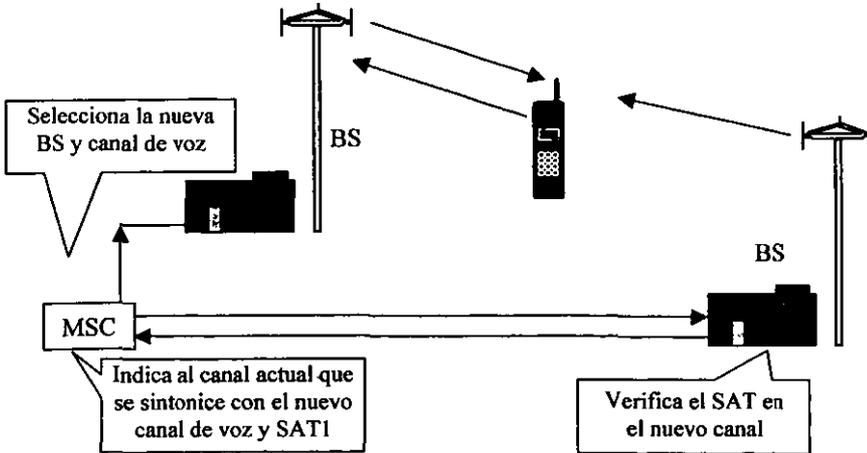


Figura 3.9. Verificación de la calidad de transmisión.

La estación móvil se sintoniza en la frecuencia del nuevo canal de voz, recibiendo el SAT y regresándolo a la nueva estación base. La nueva estación base, al recibir el SAT enviado por la estación móvil le informa a la MSC que el *hand-off* fue exitoso. La estación base anterior, detecta un ST de 50 ms enviado por la estación móvil para liberar la llamada y regresando con esto a un estado de espera.

3.4. HAND-OFF DIGITAL

El MAHO (*Mobile Assisted Hand-Off, Hand-Off Asistido por la Estación Móvil*) es una función en la que las estaciones móviles *dual mode* asisten y colaboran en el proceso de *hand-off*.

Cuando el procedimiento de MAHO es activado la estación móvil debe cuantificar el RSSI y el BER.

El RSSI (*Received Signal Strength Indicator, Indicador de Intensidad de Señal Recibida*) es la medición de la intensidad de señal recibida por la estación móvil. Este RSSI debe ser representado como un código de 5 bits en el mensaje de calidad de canal, un valor de -113 dBm es reportado como un 00000 y cuando el valor es mayor a -51 dBm es reportado como 11111. El RSSI se incrementa linealmente con respecto a la intensidad de la señal RF recibida.

Este código lo tenemos representado en la tabla 3.2.

| Código de bits | Intervalo de RSSI |
|----------------|-------------------|
| 00000 | -113 dBm o menor |
| 00001 | -111 dBm |
| 00010 | -109 dBm |
| 00011 | -107 dBm |
| . | . |
| . | . |
| . | . |
| 11110 | -53 dBm |
| 11111 | -51 dBm o mayor |

Tabla 3.2. Código de RSSI.

La estación base supervisa el enlace usando un algoritmo basado en los siguientes parámetros:

- RSSI.
- BER.
- Pérdida en la ruta de propagación, que es la diferencia entre el nivel de potencia transmitido y el RSSI.

La estación base inicia la función de ubicación, enviando un mensaje de orden de medición en el FDTC. Esta orden le informa a la estación móvil que comience las mediciones de calidad en el canal y que lo reporte, también selecciona hasta 12 canales de RF necesarios en las mediciones por parte de la estación móvil. La orden de medición contiene los campos descritos en la tabla 3.3.

| Elemento de Información | Longitud en bits |
|----------------------------|------------------|
| Discriminador de protocolo | 2 |
| Tipo de mensaje | 8 |
| Canal de RF | 10-142 |

Tabla 3.3. Mensaje de orden de medición.

Una vez recibido el mensaje de orden de medición, la estación móvil responde con un mensaje de orden de medición reconocido "Ack" a través del canal de tráfico de subida (RDTC). Este mensaje reconoce el comienzo de las mediciones de calidad en canal por la estación móvil y verifica la lista de canales a ser medidos. El mensaje de orden de medición reconocido contiene los siguientes campos, tabla 3.4.

| Elemento de Información | Longitud en bits |
|----------------------------|------------------|
| Discriminador de protocolo | 2 |
| Tipo de mensaje | 8 |
| Canal de RF | 10-142 |

Tabla 3.4. Mensaje de orden de medición reconocido.

El móvil comienza la medición en su actual DTC y en la secuencia de canales de RF especificados en la orden de medición. El indicador de intensidad de señal RSSI y el BER son medidos en el actual DTC. El RSSI también es medido en los otros canales.

El móvil reporta sus mediciones en el mensaje de calidad de canal usando el RDTC. Este mensaje está dividido en dos mensajes: el mensaje de calidad de canal 1 y el mensaje de calidad de canal 2. El BER del canal actual es reportado mediante los tres bits que contienen un código con la tasa de error. El RSSI de cada canal es reportado con los 5 bits que contienen el código con el valor de la medición de intensidad de señal respecto al canal en uso. Este procedimiento se muestra en la figura 3.10.

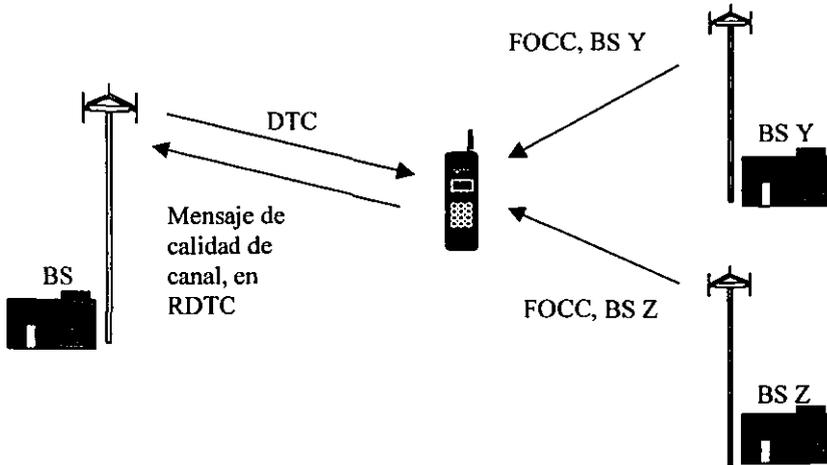


Figura 3.10. Mensaje de calidad de canal.

El mensaje de calidad de canal 1 contiene el reporte de los primeros 6 canales monitoreados, así como la información mostrada en la tabla 3.5.

| Elemento de Información | Longitud en bits |
|----------------------------|------------------|
| Discriminador de protocolo | 2 |
| Tipo de mensaje | 8 |
| BER del canal actual | 3 |
| RSSI del canal actual | 5 |
| RSSI del 1er canal RF | 5 |
| RSSI del 2o canal RF | 5 |
| RSSI del 3er canal RF | 5 |
| RSSI del 4o canal RF | 5 |
| RSSI del 5o canal RF | 5 |
| RSSI del 6o canal RF | 5 |

Tabla 3.5. Mensaje de calidad de canal 1.

El mensaje de calidad de canal 2 contiene el reporte de los canales 7 al 12, así como la información mostrada en la tabla 3.6.

| Elemento de Información | Longitud en bits |
|----------------------------|------------------|
| Discriminador de protocolo | 2 |
| Tipo de mensaje | 8 |
| RSSI del 7º canal RF | 5 |
| RSSI del 8º canal RF | 5 |
| RSSI del 9º canal RF | 5 |
| RSSI del 10º canal RF | 5 |
| RSSI del 11º canal RF | 5 |
| RSSI del 12º canal RF | 5 |

Tabla 3.6. Mensaje de calidad de canal 2.

La estación base evalúa las mediciones de calidad del canal de la estación móvil y de la pérdida en la ruta de propagación obtenida de la MSC. La MSC compara las mediciones hechas por ella con la específica de cada canal, de esta forma es creada una lista de canales candidatos, si el mejor canal candidato no es el canal actual de comunicación entonces una petición de *hand-off* es enviada a la MSC como se indica en la figura 3.11 (a).

La petición de *hand-off* contiene los siguientes registros:

- Número de estaciones base candidatas, como máximo 6.
- Lista de estaciones candidatas.
- Razón del *hand-off*.
- Nivel de potencia usado.
- Pérdida en la ruta de propagación en el actual DTC.

La MSC envía entonces una petición de verificación al LVM (*Location Verification Module*, Módulo de Verificación de Sitio) en la estación base objetivo como se indica en la figura 3.11 (b), esta petición contiene:

- Número de petición.
- Número de canal RF.
- Indicador de *slot*.
- DVCC.

De esta forma, el LVM sintoniza el canal indicado y se sincroniza con el *slot*. La siguiente información es medida y evaluada:

- DVCC decodificado.
- Intensidad de señal recibida.
- Calidad en la ráfaga recibida.

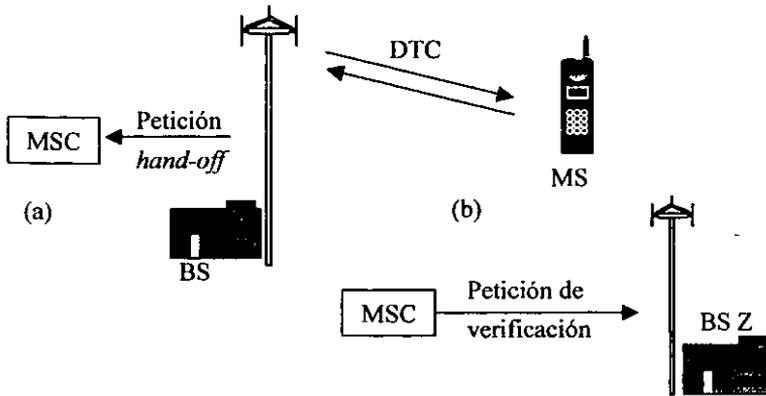


Figura 3.11. (a) Petición de *hand-off*. (b) Petición de verificación.

Después de esto, el LVM envía un mensaje de resultado a la MSC, esto se muestra en la figura 3.12, conteniendo la siguiente información:

- Verificación del número de petición.
- Código de verificación de resultado.
- Promedio de la intensidad de señal recibida de la ráfaga con el correcto DVCC.
- Promedio de la calidad de las ráfagas con el correcto DVCC.

Si la verificación fracasa, la siguiente estación base objetivo será seleccionada para ser verificada, solamente puede haber un máximo de 5 reselecciones.

3.5. HAND-OFF ENTRE DOS ESTACIONES BASE DIGITALES

A continuación se describe la serie de pasos realizados para que se lleve a cabo el *hand-off* entre una estación base digital a otra estación base digital.

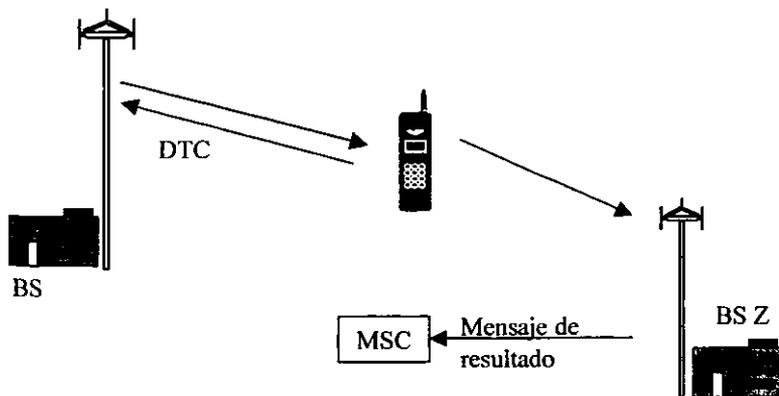


Figura 3.12. Mensaje de resultado.

La MSC selecciona el canal de tráfico digital DTC con la mejor calidad de señal que se encuentre desocupado en la estación base, recordemos que una estación móvil se encuentra monitoreando el nivel de señal continuamente.

La MSC le ordena a la nueva estación base comenzar a transmitir en el nuevo canal y con el nuevo DVCC, después la MSC le ordena a la actual estación base que envíe una señal de *hand-off* hacia la estación móvil, la orden de *hand-off* es enviada a la estación móvil en el actual FDTC, la figura 3.13 ilustra este procedimiento.

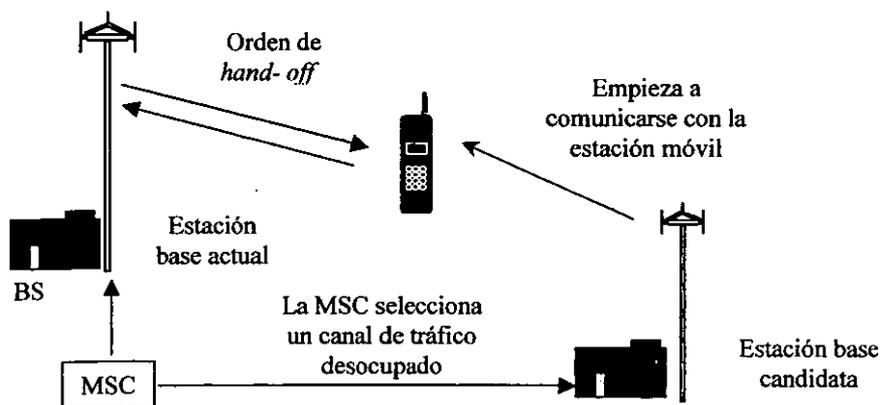


Figura 3.13. *Hand-off* entre dos estaciones base digitales.

La orden de *hand-off* hace que la estación móvil cambie de un canal a otro, ésta orden contiene los siguientes campos que se muestran en la tabla 3.7.

| Elemento de Información | Longitud en bits |
|------------------------------------|------------------|
| Discriminador de protocolo | 2 |
| Tipo de mensaje | 8 |
| Canal de RF | 11 |
| Tasa de Comunicación (Half o Full) | 1 |
| Indicador de <i>slot</i> | 3 |
| Color Code SAT /DIC | 8 |
| DMAC / VMAC | 4 |
| Alineación en tiempo | 5 |

Tabla 3.7. Componentes de la orden de *hand-off*.

A continuación se definen los parámetros de la orden de *hand-off*.

Tasa de Comunicación. Este bit indica el tipo de comunicación del DTC, donde un “0” indica que la velocidad de la comunicación es de tipo *full rate* y un “1” indica que la comunicación es de tipo *half rate*.

Indicador de *slot*. Estos tres bits nos indican el *slot* del DTC (000 = Analógico, 001 = *slot* 1, ..., 110 = *slot* 6, 111 = Reservado).

Color Code SAT / DVCC. Ocho bits que definen el código de color a ser utilizado.

DMAC / VMAC. Cuatro bits que indican el nivel de potencia de la estación móvil a ser usada en el nuevo canal de tráfico o canal de voz.

Alineación en tiempo. Está formado por 5 bits que indican el *offset* absoluto, con respecto a la posición de SOR (*Standard Offset Reference*, Posición Estándar de Referencia de *Offset*).

La estación base actual informa a la MSC que la orden de *hand-off* ha sido redireccionada hacia la estación móvil a través del FDTC.

La estación móvil reconoce la recepción de la orden enviando un mensaje de reconocimiento “Ack” a través del RDTC. El mensaje de reconocimiento “Ack” contiene la información expresada en la tabla 3.8.

| Elemento de Información | Longitud en bits |
|----------------------------|------------------|
| Discriminador de protocolo | 2 |
| Tipo de Mensaje | 8 |
| Tipo de mensaje Ack | 8 |
| Longitud restante | 6 |

Tabla 3.8. Componentes del mensaje de reconocimiento "Ack".

La estación móvil sintoniza a la nueva estación base, se sincroniza con el *slot*, detecta el DVCC nuevo y continúa con la conversación.

La nueva estación base informa a la MSC que el *hand-off* fue exitoso.

La MSC ordena a la estación base detener la transmisión de información hacia la estación móvil y retorna a un estado de disponibilidad. La figura 3.14 ilustra el *hand-off* digital.



Figura 3.14. *Hand-off* digital.

3.6. *HAND-OFF* DE ESTACIÓN BASE DIGITAL A ANALÓGICA

Durante el proceso de *hand-off* de digital a analógico encontramos algunas diferencias con respecto al *hand-off* digital a digital. A continuación presentamos los eventos que se realizan durante este proceso:

La estación base que está soportando la comunicación de un usuario que se encuentra en un sistema digital, detecta ya sea que la fuerza de la señal o que la tasa de errores durante la transmisión está por debajo de un nivel aceptable, entonces notifica a la MSC que la estación móvil es una candidata para realizar un *hand-off*.

La MSC identifica a las estaciones bases adyacentes y le da la instrucción a la estación base actual de ordenarle a la estación móvil que monitoree los canales adyacentes.

La estación móvil reporta la fuerza de la señal a la estación base, para que ésta la envíe a la MSC y determine la estación base con las mejores lecturas en cuanto a fuerza de la señal.

La MSC le ordena al LVM con la mejor lectura se sintonice a la frecuencia y al *slot* de la estación móvil y determine su tasa de errores, así como la calidad de la señal con respecto a la estación móvil. La estación base se sintoniza con la frecuencia de la estación móvil y reporta los resultados encontrados a la MSC, ésta le indica a la nueva estación base analógica transmitir el SAT a la estación móvil e iniciar la verificación de ruta MBLC con la MSC.

Si la verificación MBLC es aceptable, la MSC le ordena a la estación base indicarle a la estación móvil que se sintonice a la nueva frecuencia y al nuevo SAT.

3.7. LIBERACIÓN DE LLAMADA

En este caso tenemos una estación móvil en conversación sobre un canal de voz o tráfico. La liberación de llamada inicia cuando es presionado el botón *END* en la estación móvil y ésta transmite a la estación base un tono ST de 1.8 s para el caso analógico, o un mensaje de liberación de llamada para el caso digital, que ordenan apagar el transmisor de la estación base, liberando la llamada y retornando a un estado de disponibilidad.

A partir de este momento la estación móvil vuelve a monitorear el canal de control más fuerte. En la figura 3.15 se ilustra el proceso de liberación de llamada.

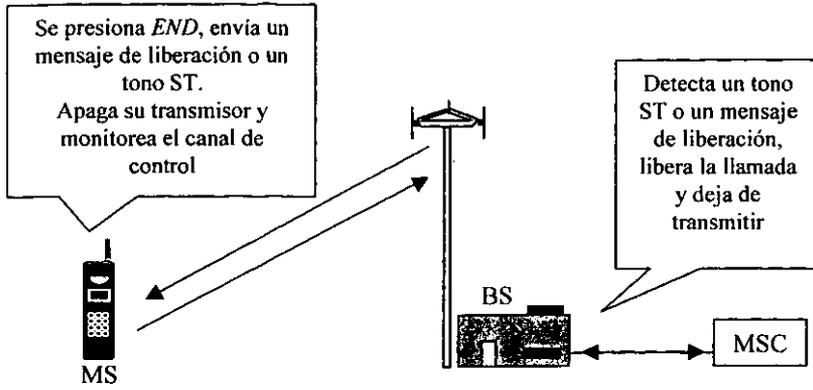


Figura 3.15. Liberación de llamada.

Hasta este capítulo se ha descrito el funcionamiento de una estación móvil dentro de un sistema celular básico, en el capítulo siguiente se describirán, de manera general, los módulos que componen una estación móvil, así como su funcionamiento.

CAPÍTULO 4 LA ESTACIÓN MÓVIL

En este capítulo se estudiará la estructura física de una estación móvil, generalizando la explicación de la estructura con una estación móvil modo dual (*dual mode*) y banda dual (*dual band*), es decir, con tecnología analógica y tecnología digital, y con la capacidad de operar tanto en la banda celular de 800 MHz como en la banda PCS de 1900 MHz.

4.1. DESCRIPCIÓN DE UNA ESTACIÓN MÓVIL

Las secciones principales de una estación móvil son: la sección de recepción (Rx), transmisión (Tx) y la sección lógica, mostradas en forma general en la figura 4.1. En esta figura se puede observar que las secciones Rx y Tx comparten una misma antena y un sintetizador de frecuencias, formando en su conjunto la sección TRX.

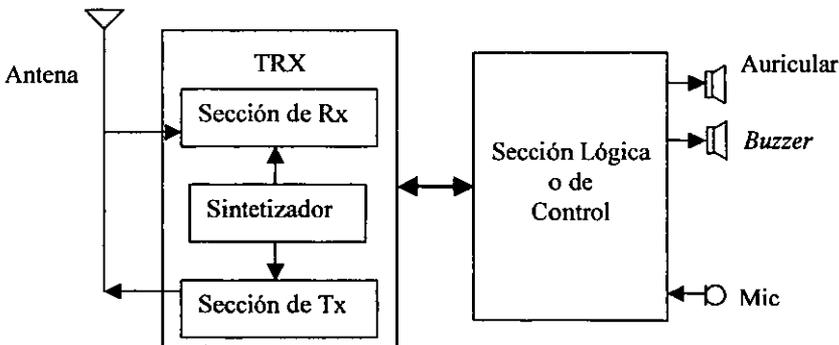


Figura 4.1. Secciones de una estación móvil.

Debido a la importancia que tiene el sintetizador de frecuencias para las secciones de recepción y transmisión es conveniente iniciar con su descripción.

4.1.1. Sintetizador de Frecuencias

Dentro de las secciones de transmisión y recepción de una estación móvil tenemos una sección llamada sintetizador de frecuencias, podemos ver esta sección dentro del bloque de Tx y Rx mostrado en la figura 4.2. El sintetizador es el encargado de generar, a partir de una frecuencia de referencia, las frecuencias necesarias utilizadas en las secciones de Tx y Rx.

La frecuencia de referencia está generada a partir de un cristal oscilador fijo. Debido a que la estabilidad en frecuencia es muy importante, y este cristal oscilador es la base para la sintetización, se debe tratar de un dispositivo muy estable acompañado de un circuito para compensación de temperatura, por esta razón este cristal es llamado TCXO (*Temperature Compensated Cristal Oscillator*, Cristal Oscilador Compensado por Temperatura). El TCXO puede ser ajustado a su frecuencia central de oscilación manualmente o por medio de un voltaje de control AFC (*Automatic Frequency Control*, Control Automático de Frecuencia) proveniente de la sección lógica.

El diseño del sintetizador depende de las frecuencias usadas en las diferentes etapas de recepción y transmisión. La selección de las frecuencias a ser generadas es parte importante en la implementación de un módulo TRX, ya que de ellas depende la obtención de las frecuencias intermedias (IF), a partir de las frecuencias de Rx y de las frecuencias finales de Tx.

En el módulo de TRX es necesario que el sintetizador genere el siguiente grupo de frecuencias:

- 1ª frecuencia local de Rx (Rx LO#1) y de Tx (Tx LO#1).
- 2ª frecuencia local de Rx (Rx LO#2).
- Frecuencia para el demodulador I/Q (Rx LO#3).
- Frecuencia local para el modulador I/Q (Tx LO#2).

A continuación se describe la forma en que las frecuencias son generadas dentro del sintetizador.

4.1.2. Circuito Sintetizador de UHF

El circuito sintetizador de frecuencias es básicamente un PLL (*Phase Lock Loop*, Lazo Cerrado de Fase) y consiste de un oscilador controlado por voltaje (VCO#1), un divisor de frecuencias, un comparador de fase, un amplificador, un filtro de lazo y un control de banda y canal, la figura 4.3 muestra la composición interna básica del bloque del sintetizador de UHF.

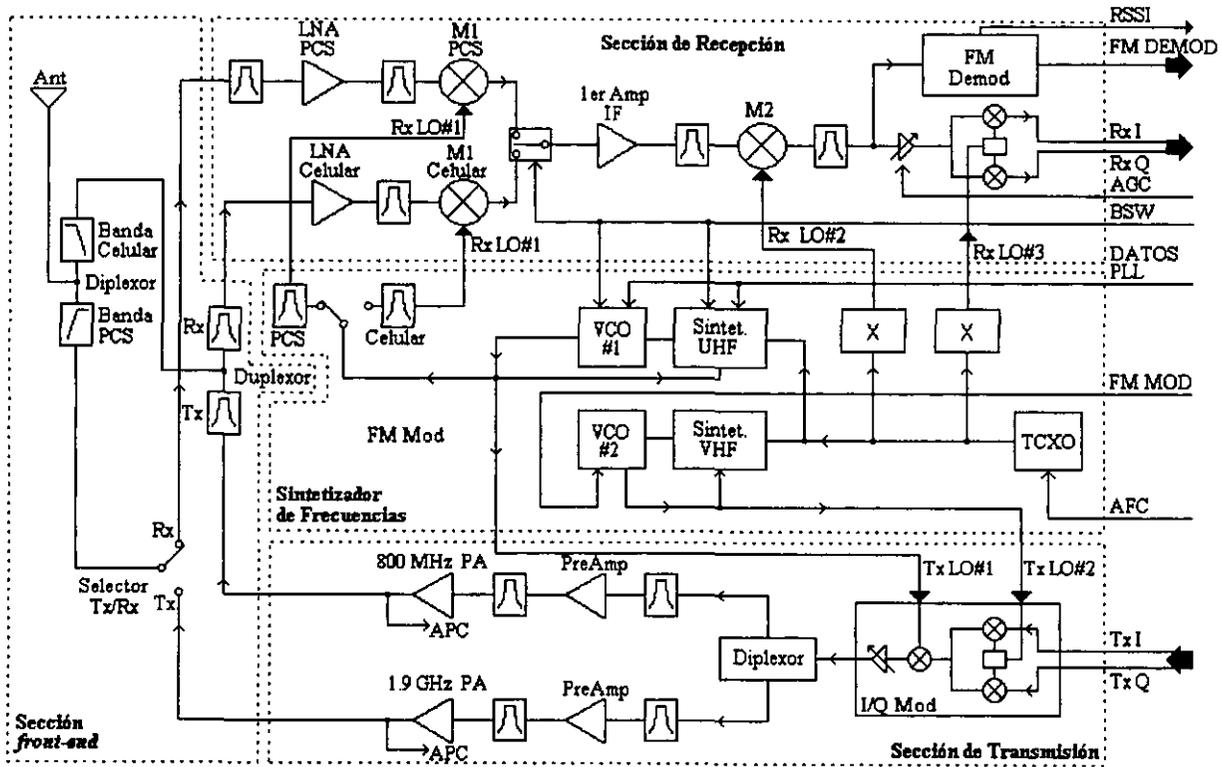


Figura 4.2. Diagrama a bloques de la sección TRX de una estación móvil *dual mode, dual band*.

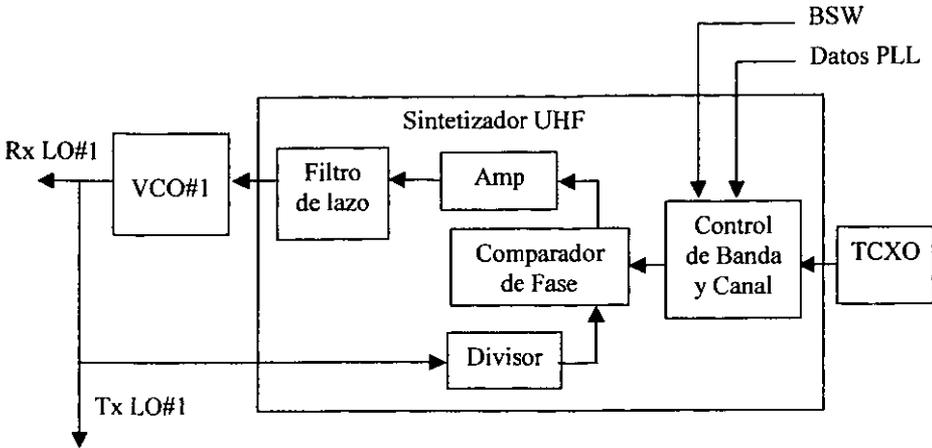


Figura 4.3. Diagrama a bloques del circuito sintetizador de UHF.

La sección lógica es la encargada de enviar la información de la asignación del canal mediante una línea de datos al PLL y de la selección de banda celular o PCS mediante una línea BSW (*Band Switch*, Interruptor de Banda), estas señales son recibidas por un control interno del sintetizador para indicar las frecuencias y la banda de operación.

El comparador de fase está formado por un multiplicador y un filtro paso bajas encargado de atenuar los componentes de la segunda frecuencia armónica que aparece al hacer la multiplicación. La salida del comparador de fase es un voltaje proporcional al valor promedio del producto de las dos señales de entrada, en función de sus desplazamientos en el tiempo, esta diferencia en tiempo puede expresarse también como una diferencia de fase. La salida de voltaje del comparador es enviada a la entrada del VCO#1, para generar a la salida una señal periódica de amplitud constante cuya frecuencia fundamental es proporcional al voltaje de entrada. El filtro de lazo está encargado de controlar la respuesta dinámica del PLL, el amplificador está encargado de adecuar la entrada de voltaje al VCO#1 y el divisor de frecuencia adecua la frecuencia de salida del VCO#1 para enviarla al comparador de fase y hacer nuevamente la comparación. Si la diferencia de frecuencias resultante de la comparación no es grande, la frecuencia de Rx LO#1 y Tx LO#1 son generadas.

Primera Frecuencia Local de Rx y Tx

El sintetizador UHF antes descrito, genera las primeras frecuencias locales para el receptor (Rx LO#1) y para el transmisor (Tx LO#1), tanto para la banda celular como para

la banda PCS. Estas primeras frecuencias locales deben adecuarse a los rangos de frecuencia de Rx y de Tx, además de poder ser ajustadas en pasos de 30 kHz, debido a la separación que hay entre canales en ambas bandas.

La primer frecuencia local del receptor (Rx LO#1) es usada para generar, mediante la mezcla con la frecuencia del canal de recepción sintonizado (Rx), la primer frecuencia intermedia (1er IF).

La primer frecuencia local del transmisor (Tx LO#1) es usada para generar, mediante la mezcla con la frecuencia local del modulador, las frecuencias de Tx tanto para la banda celular como para la banda PCS.

Segunda Frecuencia de Rx

La segunda frecuencia local del receptor (Rx LO#2) es generada en la sección de sintetización del TRX. Esta Rx LO#2 puede ser generada de dos formas, mediante un cristal oscilador fijo, o ser sintetizada mediante circuitos multiplicadores que toman como base la frecuencia de referencia, este último caso es el mostrado en la figura 4.2.

La segunda frecuencia local del receptor es usada para generar, mediante la mezcla con la 1er IF, la segunda frecuencia intermedia (2ª IF).

4.1.3. Frecuencias para el Demodulador y Modulador I/Q

La frecuencia para el demodulador I/Q (Rx LO#3) es generada mediante un circuito que divide la frecuencia del TCXO y es adecuada para hacer la demodulación de la 2ª IF a una señal de banda base (Rx I, Rx Q).

Dentro de otra de las secciones del sintetizador se generan las frecuencias locales para el modulador I/Q (Tx LO#2), tanto para la banda celular como para la banda PCS. Esta frecuencia es adecuada para generar mediante la mezcla con la Tx LO#1, las frecuencias de transmisión en la banda celular o PCS.

4.2. SECCIÓN DE RECEPCIÓN

La sección de recepción de una estación móvil debe estar diseñada para recibir señales entre 869.04 y 893.97 MHz para banda celular y desde 1930.500 hasta 1989.990 MHz para banda PCS, y está formada por los circuitos siguientes:

- Sección *front-end*.
- Amplificador de bajo ruido.
- Primer mezclador.

- Circuito de primera frecuencia intermedia.
- Segundo mezclador.
- Circuito de segunda frecuencia intermedia.
- Demodulador FM y demodulador I/Q.

Estos circuitos se muestran en la figura 4.2.

4.2.1. Sección *front-end*

La sección *front-end*, mostrada en la figura 4.4, es empleada tanto para la recepción como para la transmisión de una señal. Está formada por la antena, un diplexor, el selector Tx / Rx para banda PCS y el duplexor para banda celular.

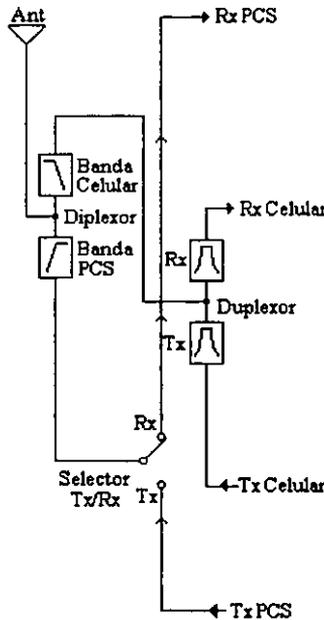


Figura 4.4. Sección *front-end*.

Para una señal RF en banda celular, la señal es recibida a través de la antena y enrutada a través de la sección paso bajas del diplexor para después ser dirigida al duplexor. Un diplexor tiene la función de hacer la separación entre la banda celular y la banda PCS, esta separación es de poco más de 1 GHz, por otro lado el duplexor hace la separación de 45 kHz entre los canales de Rx y Tx en banda celular.

Debido a que la sección *front-end* también es usada en la transmisión de señales, los filtros en el duplexor tienen la función de prevenir ruido del transmisor que afecte la estabilidad en la recepción, y atenuar las frecuencias espurias de Rx junto con las provenientes de la primera frecuencia local.

La ruta que sigue la señal recibida en banda PCS es diferente de la ruta en banda celular. En este caso la señal es enrutada a través de la sección paso altas del duplexor hacia un selector Tx / Rx en donde las funciones de recepción y transmisión son seleccionadas.

4.2.2. Amplificador de Bajo Ruido

Después de que las señales son seleccionadas por el duplexor o por el selector Tx / Rx, para la banda celular o PCS respectivamente, en la figura 4.5 se observa que ambas señales son enrutadas a los amplificadores de bajo ruido.

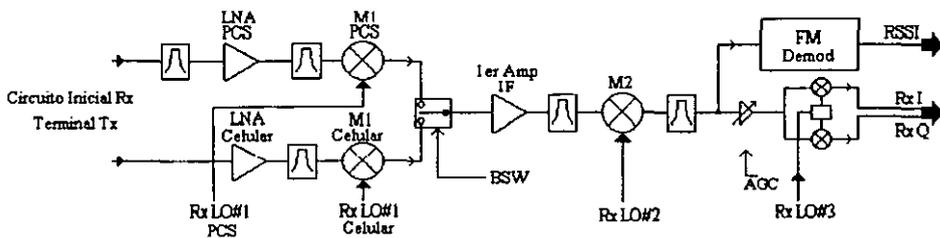


Figura 4.5. Sección de recepción.

El amplificador de bajo ruido (LNA: *Low Noise Amplifier*) tiene como propósito principal el de incrementar el nivel de la señal RF de entrada, sin afectar su relación señal a ruido. La señal de salida del LNA es enrutada a través de un filtro paso banda que proporciona una atenuación a las frecuencias no deseadas. En la banda PCS, esta atenuación se logra a través de dos filtros colocados antes y después del LNA.

4.2.3. Primer Mezclador

En el primer mezclador la señal de recepción Rx es mezclada con la primera señal de frecuencia local Rx LO#1, proveniente del selector de banda celular o PCS de la sección del sintetizador, dando como resultado la primera frecuencia intermedia (1ª IF). Esta mezcla de señales es con la finalidad de bajar la frecuencia de la señal Rx a la frecuencia del circuito de primera frecuencia intermedia, la cual debe ser la misma para las bandas celular y PCS. Por lo anterior, a partir de este punto la ruta que sigue la señal de primera frecuencia intermedia es la misma para la banda celular y para la banda PCS. Un interruptor permite la

selección de las señales de salida del primer mezclador entre celular / PCS para enrutar una sola señal de frecuencia intermedia hacia el circuito de primera frecuencia intermedia.

4.2.4. Circuito de Primera Frecuencia Intermedia

El circuito de primera frecuencia intermedia (1ª IF) está formado por un amplificador y un filtro paso banda.

La señal de primera frecuencia intermedia, proveniente del primer mezclador, es amplificada con la finalidad de darle una ganancia y después pasar a través del primer filtro de frecuencia intermedia. El primer filtro de frecuencia intermedia es un filtro paso banda con un ancho de banda de 30 kHz y una frecuencia central igual a la primera frecuencia intermedia. Este filtro tiene el objetivo de rechazar la frecuencia imagen generada en la mezcla, se considera una excesiva atenuación de las frecuencias fuera de banda y una buena linealidad.

4.2.5. Segundo Mezclador

La señal de primera frecuencia intermedia filtrada es entonces enrutada a la entrada del segundo mezclador. En el segundo mezclador, la señal de primera frecuencia intermedia es mezclada con la segunda señal de frecuencia local Rx LO#2, obteniendo la segunda frecuencia intermedia (2ª IF). Esta mezcla de señales tiene la finalidad de hacer la conversión final y bajar la señal a la frecuencia del circuito de segunda frecuencia intermedia.

4.2.6. Circuito de Segunda Frecuencia Intermedia

El circuito de segunda frecuencia intermedia consiste en un filtro paso banda, con un ancho de banda de 30 kHz y una frecuencia central igual a la segunda frecuencia intermedia. Este filtro, al igual que el filtro de primera frecuencia intermedia, debe tener una buena linealidad para evitar degradar el BER.

La señal de salida del filtro de segunda frecuencia intermedia es finalmente enrutada a las etapas de demodulación analógica o digital, según sea el caso.

4.2.7. Demodulador FM y Demodulador I/Q

En el modo analógico, la señal recibida es demodulada en frecuencia para producir la señal de banda base. En modo digital, la señal recibida, modulada digitalmente en $\pi/4$ DQPSK, es demodulada en sus componentes I y Q.

La etapa de demodulación en FM también proporciona el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI). El RSSI provee una salida de voltaje de corriente directa

proporcional a la intensidad de la señal recibida. La señal de audio demodulada y el RSSI son enviados a la sección lógica o de control, donde son digitalizados y procesados.

En la etapa de demodulación I/Q se involucra un amplificador de ganancia de voltaje controlada, con la finalidad de proporcionarle a las señales I/Q demoduladas un nivel casi constante de amplitud. La señal de control AGC (*Automatic Gain Control*, Control Automático de Ganancia) proveniente de la sección lógica controla a este amplificador y el nivel de voltaje está en función del RSSI.

Finalmente, la conversión a banda base en el demodulador I/Q es realizada con la frecuencia local Rx LO#3, generada en la sección del sintetizador de frecuencias.

4.3. SECCIÓN DE TRANSMISIÓN

La sección de transmisión es la encargada de proveer a la señal de RF un nivel de potencia de salida que cumpla con los estándares de telefonía móvil, tanto en banda celular (ya sea modo analógico o modo digital), como en banda PCS; así como de eliminar las componentes de frecuencia no deseadas. Los bloques que componen esta sección se pueden ver en el diagrama a bloques de la figura 4.6.

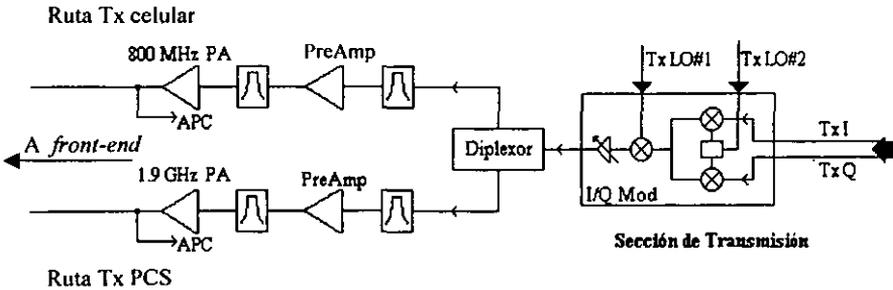


Figura 4.6. Sección de transmisión.

Varios son los aspectos que debe cumplir una estación móvil *dual mode / dual band* para la transmisión:

- La linealidad es muy importante, sobretodo en modo PCS, ésta se refleja en la relación de rechazo de potencia de canal adyacente.
- Una buena eficiencia del amplificador de potencia es crítica para proveer un consumo de energía adecuado, que se refleje en una mayor duración de la batería cuando la estación móvil se encuentre en una conversación.

- Las frecuencias espurias deben ser atenuadas para poder adecuarse a las especificaciones de los estándares de telefonía móvil.
- Debe cumplir con las reducciones de potencia y colocarse en los diferentes niveles, con sus tolerancias, indicadas en la tabla 2.3 y 2.4.

La señal banda base para la transmisión es enviada a la sección de Tx por un circuito de interfaz contenido en la sección lógica. La sección de Tx debe ser polarizada mediante una fuente de voltaje capaz de proporcionar una salida regulada y adecuada para las diferentes etapas de amplificación.

La sección de transmisión de una estación móvil debe estar diseñada para transmitir señales entre 824.04 y 848.97 MHz para banda celular y desde 1850.010 hasta 1909.950 MHz para banda PCS, y está formada por los circuitos siguientes:

- Modulador FM.
- Modulador I/Q.
- Circuito de filtrado y preamplificación.
- Circuito amplificador de potencia.
- Circuito *front-end*

4.3.1. Modulador FM

El circuito modulador de FM es similar al sintetizador de UHF descrito anteriormente en la sección 4.1.2, con la diferencia de que este circuito genera la frecuencia local (en VHF) Tx LO#2 para la banda celular y para la banda PCS. En este caso la misma línea de datos BSW determina la banda de operación para el PLL. El bloque del sintetizador de VHF es mostrado en la figura 4.7 con sus componentes internos y adecuaciones para el proceso de modulación en FM cuando la transmisión es analógica en banda celular.

En banda celular y modo analógico, al VCO#2, además de su entrada de voltaje proveniente del comparador de fase, se le adiciona una entrada extra por la cual se inyecta la señal de banda base analógica proveniente de la sección lógica, tal como se indica en la figura 4.7. Esta moduladora lleva información de audio frecuencia (AF), SAT, ST y tonos DTMF, de tal forma que en este punto además de la generación de la Tx LO#2 celular, también se realiza la modulación en frecuencia (FM) de estas señales.

En el caso de tener una transmisión analógica en la banda celular, las entradas I/Q son manejadas para permitir el paso directo por el canal I de la señal modulada en FM. En este caso la portadora es la frecuencia asignada para la banda celular del par de frecuencias Tx LO#2. Una vez que la señal modulada en FM pasa por el canal I sin ser modificada, se mezcla con la primera frecuencia local Tx LO#1, obteniendo finalmente la frecuencia de Tx.

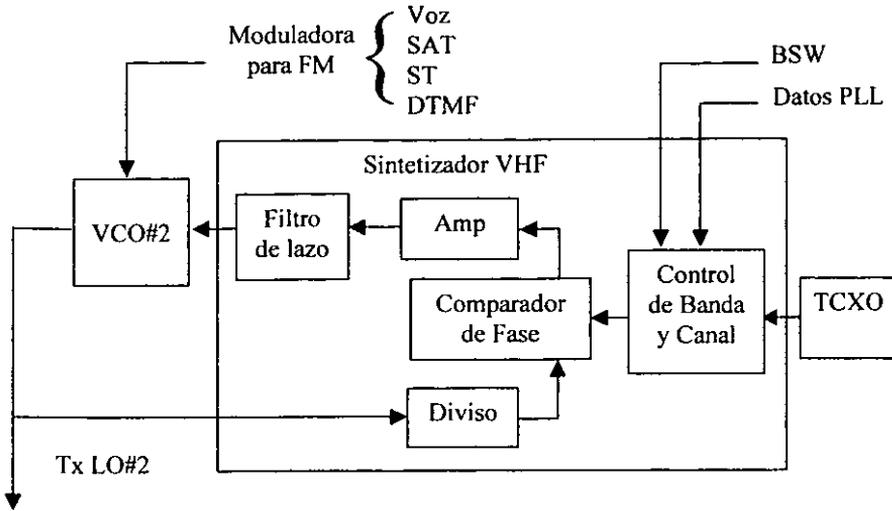


Figura 4.7. Circuito PLL para sintetizador VHF y modulador de FM.

4.3.2. Modulador I/Q

Un circuito modulador D-QPSK es usado para realizar la modulación de las componentes diferencial en fase (I) y en cuadratura (Q), de la señal de banda base digital.

La frecuencia portadora usada en esta modulación puede ser alguna del par de frecuencias locales generadas para el modulador I/Q (Tx LO#2), la selección de una frecuencia de este par depende de la banda en la que se va a realizar la transmisión.

Una vez hecha la modulación digital, la señal modulada a la frecuencia Tx LO#2 se pasa al mezclador de transmisión, éste hace la mezcla de la primera frecuencia local Tx LO#1 con la frecuencia Tx LO#2, de la cual obtenemos finalmente como salida, la frecuencia de Tx asociada al canal seleccionado para la comunicación entre la estación móvil y la estación base, lo cual es mostrado en la figura 4.8. La expresión para obtener la frecuencia de Tx y el rango de frecuencias para la banda celular y PCS se indica a continuación:

$$\text{Frecuencia de Tx [MHz]} = \text{Tx LO\#1} - \text{Tx LO\#2}$$

Rango de frecuencias de Tx:

Celular (análogo o digital): 824.04 MHz – 849.97 MHz

PCS (digital): 1850.010 MHz – 1909.950 MHz

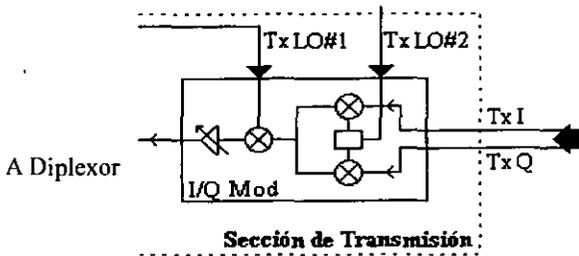


Figura 4.8. Modulador I/Q.

4.3.3. Circuito de Filtrado y Preamplificación

La magnitud de la señal modulada a la salida del modulador I/Q es de aproximadamente -10 dBm para la banda PCS y de -7 dBm para celular. Una ganancia neta de aproximadamente 40 dB debe ser proporcionada para obtener +30 dBm a la salida del PA (*Power Amplifier*, Amplificador de Potencia), para cumplir con los estándares indicados en el apéndice D. Las etapas de filtrado, preamplificación, amplificación y salida para la ruta celular y PCS son mostrados en la figura 4.9.

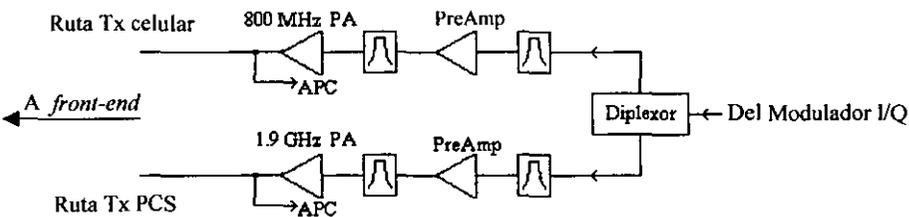


Figura 4.9. Sección de transmisión celular y PCS.

Antes de iniciar la etapa de preamplificación la frecuencia de Tx pasa por un diplexor, el cual es usado a la salida del modulador I/Q para permitir la separación entre la banda celular y PCS. En este punto hay que señalar que para estaciones móviles *dual band* se tienen dos rutas de transmisión por separado, una para la banda celular de 800 MHz y otra para la banda PCS de 1900 MHz. La secuencia de las siguientes etapas es paralela para ambas bandas con sus respectivas adecuaciones.

Una vez que se ha determinado una ruta, celular o PCS (figura 4.8), la señal modulada pasa por un filtro para el rechazo de frecuencias espurias y atenuar el ruido causado por la ruta de Rx.

Después de haber hecho el filtrado, la señal de RF modulada entra al circuito preamplificador, que se encarga de dar ganancia y linealidad a la señal de RF, para posteriormente ser manejada por el amplificador de potencia. Esta señal preamplificada es filtrada nuevamente para proporcionar atenuación adicional de ruido y frecuencias espurias.

4.3.4. Circuito Amplificador de Potencia

Una vez preamplificada y filtrada la señal de RF, pasa por la etapa de amplificación de potencia; los PA de las estaciones móviles, en específico de los teléfonos portátiles, son muy pequeños, por lo que es importante que a pesar de ello se trate de un dispositivo de buena linealidad y eficiencia, cuya ganancia comúnmente es de 24 dB a 28 dB. La potencia a la salida de esta etapa de amplificación debe ser como máximo de +30.5 dBm.

Lazo de Control Automático de Potencia

El lazo APC (*Automatic Power Control*, Control Automático de Potencia) es un circuito de comparación para mantener los niveles de potencia de salida dentro de la tolerancia especificada por la IS-137. Su operación esta basada en un lazo de realimentación negativa que compara el nivel de la señal de RF con un voltaje de referencia generado en la sección lógica. Este voltaje de referencia está definido en función de los niveles de potencia nominales. Las variaciones de potencia sufridas por la asignación de canales dentro del rango de frecuencias de Tx y las variaciones de temperatura, son tomadas en cuenta para la compensación.

Para prevenir algún daño en el amplificador de potencia ocasionado por el alto nivel de potencia reflejada generado por la antena, es necesario instalar un aislador.

4.3.5. Sección *front-end*

La señal de RF es enrutada al duplexor en el caso de la banda celular o al selector Tx / Rx en el caso de PCS, pertenecientes al circuito *front-end*. El duplexor permite la recepción y la transmisión de la señal de RF al mismo tiempo sin interferencias mutuas, atenúa también las frecuencias espurias del PA, así como el ruido causado por la ruta de Rx.

La señal proveniente del duplexor es enrutada a la entrada del diplexor, pasando por la sección paso bajas, para la banda celular, y enrutada a la antena para su transmisión. La señal proveniente del selector Tx / Rx, para la banda PCS, es enrutada a través de la sección paso altas del diplexor, para finalizar en la antena, que es la encargada de radiar la señal de RF.

4.4. SECCIÓN LÓGICA O DE CONTROL

La sección lógica o de control es la encargada de procesar la señal de banda base, generar las señales de control, administrar y suministrar energía a cada una de las interfaces y secciones de la estación móvil.

La sección lógica está constituida por seis módulos funcionales, mostrados en la figura 4.10:

- Módulo de Suministro de Energía.
- Procesador Huésped (*Host Processor*).
- Interfaz de Usuario.
- Módulo de Procesamiento de Banda Base.
- Módulo de Audio.
- Módulo de Entrada / Salida (I/O).

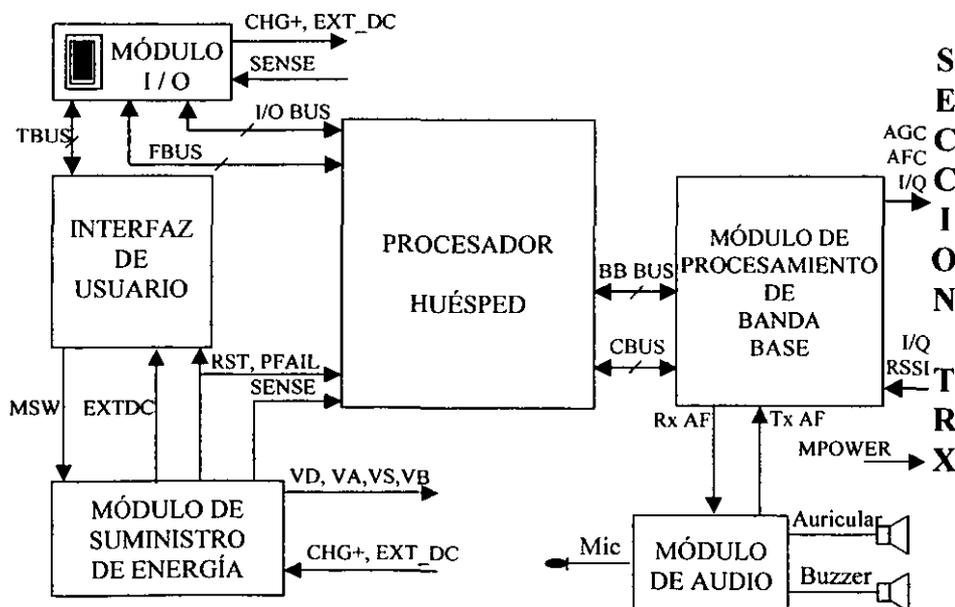


Figura 4.10. Módulos principales de la sección lógica de la estación móvil.

4.4.1. Módulo de Suministro de Energía

El módulo de suministro de energía alimenta, con energía regulada y con señales indicadoras de estado de energía, a las secciones de recepción, transmisión y lógica de la estación móvil. La figura 4.11 muestra un diagrama del módulo de suministro de energía, la cual consiste de los siguientes bloques: control de energía, reguladores de voltaje, respaldo de energía, batería y monitor de energía, principalmente.

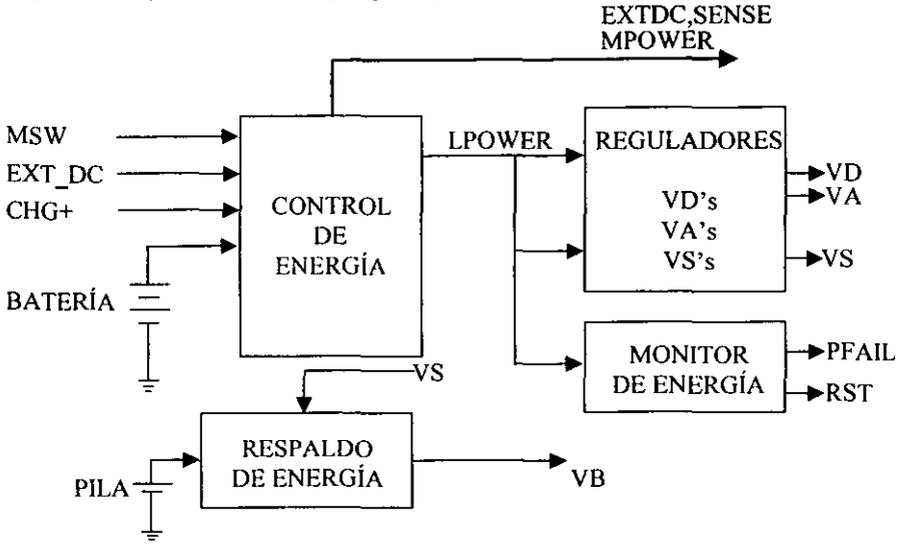


Figura 4.11. Diagrama del circuito de control de energía.

Control de Energía

Como se observa en la figura 4.12, el circuito de control de energía es esencialmente un conjunto de interruptores, que controlan la distribución de energía a la sección lógica, y un grupo de indicadores de estado, para señalar la presencia de varias fuentes de energía.

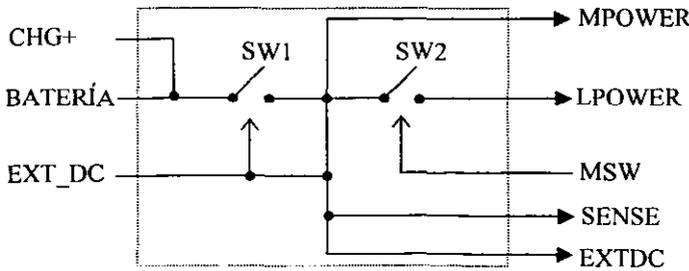


Figura 4.12. Circuito de control de energía.

Las señales de energía que alimentan al circuito de control de energía son originadas por dos fuentes, principalmente:

- **Batería:** la batería es la fuente de energía de la estación móvil. Algunos tipos de baterías más comunes son las de Níquel Cadmio (NiCd), Níquel Metal (NiMH) y de Iones de Litio (Li-Ion). Cabe mencionar que la capacidad de conservación de energía de la batería depende de su tipo, siendo las baterías Li-Ion las que proporcionan una mayor duración.
- **EXT_DC:** fuente de energía de corriente directa externa proveniente de un accesorio, conectado a través del módulo de entrada / salida.

La señal CHG+ proporciona la capacidad de cargar la batería a través de un adaptador externo de encendedor de cigarrillos, conectado en el módulo de entrada / salida.

Dependiendo de la ruta de los circuitos de la estación móvil que alimente, existen dos tipos de señales de energía:

- **MPOWER (*Main Power*, Energía Principal):** es la ruta de energía principal y energiza directamente a la sección TRX.
- **LPOWER (*Logic Power*, Energía de la Sección Lógica):** es la ruta de energía de la sección lógica.

Con la finalidad de prolongar la duración de la energía de la batería, la EXT_DC controla directamente el interruptor SW1, teniendo de esta forma preferencia sobre la batería. Por otro lado, la señal MSW (*Main Switch*, Interruptor Principal) es una señal de control proveniente de la interfaz de usuario que habilita la sección lógica por medio del control del interruptor SW2.

Finalmente, la señal de control EXT_DC le indica a la interfaz de usuario la presencia de una fuente de energía de corriente directa externa, mientras que la señal SENSE proporciona la información respecto al tipo de batería conectada.

Reguladores

Los reguladores son usados para la distribución de energía regulada a la sección lógica. Dependiendo de la arquitectura de la estación móvil, determinada por cada fabricante, algunos reguladores son usados para proveer las señales de alimentación VD para alimentar los circuitos digitales y las señales de alimentación VA para los circuitos analógicos de la sección lógica a través de LPOWER, por lo que sólo están disponibles cuando la sección lógica se encuentra energizada. Por otro lado, existen reguladores que son usados para alimentar la señal VS a los dispositivos que requieren una alimentación *standby*, es decir, estos reguladores están disponibles independientemente de que la sección

lógica se encuentre energizada, siempre y cuando se tenga una batería o una fuente externa disponible.

Monitor de Energía

Este circuito monitorea el nivel de energía de la batería y le proporciona al procesador huésped las señales de *reset* (RST) y de falla de energía (PFAIL). RST es empleada cuando se enciende la estación móvil para reiniciar los circuitos de los diferentes módulos y se preparen a operar, mientras que PFAIL se emplea cuando el nivel de energía de la batería está por debajo del límite de operación.

Respaldo de Energía

Proporciona una energía de respaldo VB a los dispositivos de memoria y de la interfaz de usuario que la requieran. La energía de respaldo puede ser proporcionada por un regulador *standby* o por una pequeña pila recargable. El regulador *standby* también le proporciona una corriente de carga a la pila cuando la sección lógica se encuentra energizada.

4.4.2. Procesador Huésped

El módulo del procesador huésped (*Host Processor*) provee la secuencia referente a las acciones del proceso de llamada y a las tareas de *software* programadas por el usuario, para lo cual utiliza un microcontrolador que interacciona con el circuito de banda base. Sus funciones son desempeñadas por el siguiente *hardware*, figura 4.13:

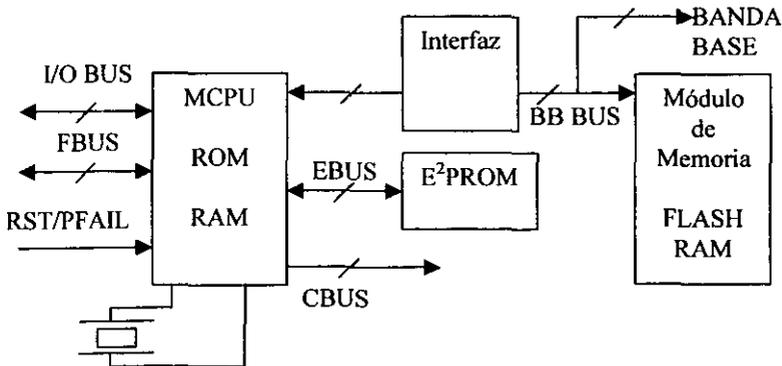


Figura 4.13. Arquitectura del procesador huésped.

- Procesador Principal MCPU (*Main Central Process Unit*, Unidad Central de Procesamiento Principal).
- Módulo de memoria.

- Interfaz entre el MCPU y el módulo de memoria.
- E²PROM.

La comunicación entre el procesador huésped y los demás módulos de la sección lógica se realiza mediante los siguientes *buses* de datos:

- CBUS: Permite la comunicación entre el codificador / decodificador contenido en el módulo de banda base.
- I/O BUS: Comunica la interfaz de entrada / salida con el MCPU, llevando información de control y detección.
- EBUS: Es un *bus* interno en el MCPU que lo comunica con la E²PROM.
- FBUS: Es un *bus* usado como interfaz entre MCPU y los accesorios externos vía conector externo de entrada / salida (I/O).

Procesador Principal

El procesador principal (MCPU) es un microcontrolador que maneja las funciones de la sección lógica, se comunica con todos los demás módulos de la sección lógica por medio de *buses* de datos, esto le permite pasar el control y la información del estado de la unidad móvil a todos los demás módulos de la sección lógica, tanto internos como externos.

El MCPU consta de tres partes principales:

- Memoria interna.
- Reloj generador.
- Bus local.

La memoria interna está formada por una RAM y por una ROM. Estas memorias guardan información que el MCPU necesita para realizar su tarea y está conectado a un cristal que hace la función de reloj, en varios equipos es conocido como reloj del sistema, ya que el resto del sistema debe estar sincronizado con él. Estas tres partes están comunicadas entre sí por el *bus* local.

Módulo de Memoria

Este módulo consiste de una memoria no volátil conocida como *flash*, en donde reside la parte principal del código de operación de la estación móvil y el *software* que maneja las funciones del teléfono, y una memoria volátil SRAM. Ambas memorias son alimentadas por la batería, por otro lado la SRAM es también alimentada por el módulo de respaldo de energía en caso de que la batería principal sea retirada.

Interfaz entre el MCPU y el Módulo de Memoria

Esta interfaz es un circuito de aplicación específica que comunica al MCPU con su memoria externa y al BEC (*Baseband Engine Chip*, Chip Procesador de Banda Base) por medio del *bus* de datos BB BUS.

Módulo E²PROM

Este módulo es una E²PROM que contiene información importante para la identificación de la estación móvil, como el ESN y el NAM. Es importante recordar que el ESN no puede ser modificado por el usuario.

Por medio de un *bus* de datos (EBUS), los datos son accedidos a la E²PROM desde el MCPU, este *bus* tiene muchos esquemas de protección por medio de *passwords*.

4.4.3. Interfaz de Usuario

El módulo de interfaz de usuario le proporciona a la sección lógica todas aquellas tareas de *software* programables por el usuario, usando como interfaz con el procesador huésped otro procesador (TCPU). En la figura 4.14 se observan los componentes de esta sección y estos se enlistan a continuación:

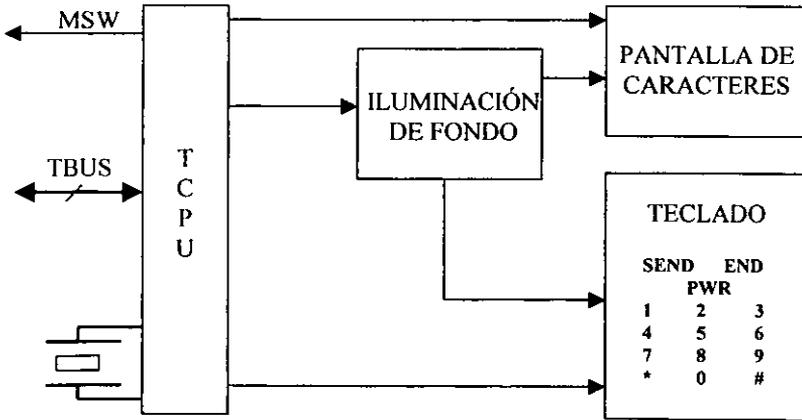


Figura 4.14. Interfaz de usuario.

- TCPU (*Telephone CPU*, CPU de Teléfono).
- Pantalla de caracteres.
- Teclado.

TCPU

El TCPU sirve para controlar las funciones de la interfaz de usuario por medio de un conjunto de *buses* de datos, los cuales permiten el paso de información de control y estado hacia las funciones externas.

La comunicación entre el TCPU y los demás módulos de la sección lógica se realiza mediante el *bus* de comunicación serial TBUS. El TBUS provee la comunicación entre el TCPU y el MCPU y los accesorios externos conectados en la interfaz entrada / salida (I/O).

Pantalla de Caracteres

La pantalla de caracteres permite al usuario visualizar por medio de caracteres o íconos, las funciones de la estación móvil, así como todas aquellas señales de control que necesiten ser visualizadas por el usuario, como por ejemplo: el nivel de energía de la batería, el RSSI, el control de volumen, el número marcado, etc.

Entre los tipos de pantalla de caracteres más comunes se encuentran la de matriz de LED's y la pantalla de cristal líquido (LCD, *Liquid Cristal Display*)

Teclado

El teclado consiste de una matriz de interruptores (teclas), las cuales proveen la interfaz entre el usuario y la sección lógica, y pueden contener un conjunto de LED's como sistema de iluminación de fondo.

- **Matriz de Interruptores o Teclas:** Dependiendo del modelo de la estación móvil, se tendrán diferentes arreglos de esta matriz. Las teclas básicas que aparecerán en la matriz son: los 10 dígitos para marcado (del 0 al 9), *, # y las teclas de *power*, *send* y *end*.
- **Sistema de Iluminación de Fondo:** Este sistema consiste de un arreglo de LED's para iluminar la pantalla y el teclado. El sistema de iluminación permanece encendido, por un tiempo determinado por el fabricante, después de haber presionado una tecla o de recibir una llamada.

4.4.4. Módulo de Procesamiento de Banda Base

El módulo de procesamiento de banda base es el encargado de manipular la señal de banda base obtenida de la demodulación en la parte de Rx y de la señal de entrada de audio. Su tarea es la de realizar la conversión analógica a digital de la señal de audio, compresión de datos y tareas de proceso de llamada de bajo nivel. Generalmente se trata de uno o varios circuitos, dependiendo del grado de integración y el diseño de cada fabricante.

La señal banda base proveniente del demodulador es manejada dependiendo del tipo de señal (analógica o digital) obtenida en la sección TRX, para finalmente enviarla a los dispositivos transductores de salida de audio (auricular y *buzzer*). En el caso digital se realiza una manipulación de *slots*, mientras que en el caso analógico se manipulan señales analógicas.

El manejo de la señal de audio proveniente del micrófono es adecuado al tipo de transmisión de datos requerido en la modulación; en estructuras de *slots* TDMA para el modo digital o bien la adecuación para AMPS en el modo analógico.

En forma general, podemos decir que el módulo encargado del procesamiento de la señal banda base en una estación móvil está constituido por los siguientes dos bloques, mostrados en la figura 4.15.

- BEC (*Base Band Engine Chip*, Chip de Procesamiento de Banda Base).
- IFC (*Interface Chip*, Chip de Interfaz).

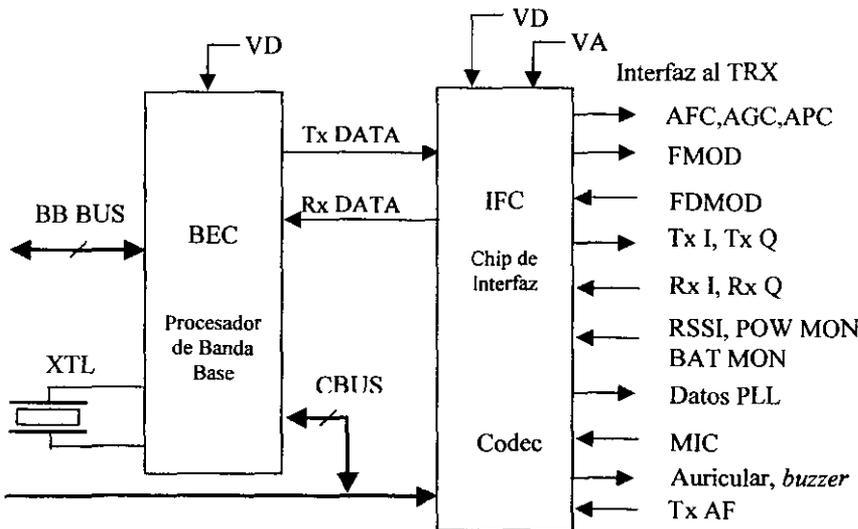


Figura 4.15. Arquitectura del procesador de banda base.

El dispositivo BEC ejecuta las tareas relacionadas al proceso de la señal banda base, enruta datos hacia y desde el IFC así como del y al codificador (*codec*), hace también de interfaz con la sección del procesador huésped. El IFC realiza conversiones analógica a digital y digital a analógica, filtrado de señal de voz y control de ráfagas de datos dirigidas de y hacia la sección de TRX cuando se opera en modo digital.

Procesador de Banda Base

La sección del BEC se compone fundamentalmente de un DSP (*Digital Signal Processor*, Procesador Digital de Señales) como núcleo. El DSP realiza las tareas de proceso de banda base como la codificación de voz (*vocoder*), codificación y decodificación de canales de tráfico o voz, ecualización y procesamiento para el formato AMPS. Hace también la transferencia de datos hacia y desde el IFC, da la interfaz entre el módulo del MCPU. El BEC cuenta con una señal de reloj que es usada por los relojes necesarios dentro del núcleo DSP.

Algunas de las funciones claves realizadas y soportadas por el BEC son:

- Implementación de los requerimientos de los estándares IS-136 e IS-137.
- Implementa el *Vocoder ACELP (Algebraic Code Excited Linear Predictive, Predictivo Lineal de Código Algebraico Excitado)*.
- Permite la operación de ahorro de energía en modo analógico y digital.
- Ecualizador de audio y cancelador de eco.
- Interfaz al CODEC.
- Controla la velocidad y tipo de transmisión en *full rate* o *half rate*.
- Controlador y codificador de canal para TDMA y AMPS.
- Modem $\pi/4$ DQPSK.
- Generación y decodificación de SAT y ST.
- Interfaz para los PLL del sintetizador de frecuencias.
- Medición de BER, RSSI, batería, potencia y temperatura.
- Control del temporizador de ráfagas.
- Algoritmo de intercalado.
- Interfaz directa al MCPU.
- Interfaz directa al IFC.
- Compandor.

Codificación de Canal

En el proceso de codificación de canal se añaden bits a los datos de audio con el fin de asegurar una transmisión adecuada. De igual forma se añaden bits a los bits de datos más significativos para corrección y detección de errores y se añade la información necesaria para controlar un canal de tráfico. También se adicionan bits de guarda para evitar la sobreposición con la ranura de tiempo de un usuario diferente. Los datos son entonces entrelazados, mediante un algoritmo, entre dos *slots* diferentes dentro del mismo *frame* para evitar efectos de desvanecimiento e interferencia. Finalmente, los datos son colocados en estructuras de *frames* con la estructura adecuada al método de acceso TDMA.

Codificador de Voz

El propósito de un codificador de voz (*Vocoder*) es reducir la cantidad de datos de voz que necesitan ser transmitidos.

Los teléfonos estándar requieren 64 kbps para transmitir datos de voz, un codificador de voz ACELP puede transmitir la misma información en solamente 7400 bps. Esta es una mejora respecto al codificador de voz VCELP (*Vectorial Code Excited Linear Predictive*, Predictivo Lineal de Código Vectorial Excitado), que transmitía 7950 bps.

Los codificadores de voz logran esta compresión de datos usando tablas de búsqueda y libros de código para cuantificar ciertos sonidos de habla. Existen tablas para sonidos prolongados (vocales) y sonidos cortos (consonantes). Un *vocoder* toma los datos de audio digital y usa algoritmos matemáticos y tablas de búsqueda para reducir la cantidad de datos a enviar. Por ejemplo, cuando se dice un sonido vocal como la letra “e”, es necesario enviar muy pocos datos. Esto se debe a que el contenido espectral de esta vocal no cambia mucho con el tiempo. Sin embargo, para decir un sonido complejo como “ch” o “t”, el contenido de frecuencia cambia rápidamente; por tanto es necesario enviar más datos. El *vocoder* ACELP usa libros de código de larga y corta duración para saber cuales sonidos requieren datos significativos y cuales sonidos no. Esto reduce considerablemente la cantidad de datos que necesitan ser enviados. La velocidad de datos para el codificador de voz ACELP es de 7400 bps. Este *vocoder* ACELP ha mejorado enormemente la calidad de voz del sistema IS-136.

Ahorro de Energía

Para el ahorro de energía, el codificador de voz ACELP tiene también la capacidad de usar un VAD (*Voice Activity Detector*, Detector de Actividad de Voz) para enmudecer la transmisión cuando el usuario no está hablando. Esto se denomina DTX (*Discontinuous Tx*, Transmisión Discontinua) y su objetivo principal es proporcionar una mayor vida de la batería. Cuando DTX enmudece el habla, se transmite un “ruido de confort” (CN, *Comfort Noise*) artificial en su lugar.

Compandor

El compandor es la combinación de un compresor y un expansor de señal de audio. En la transmisión, el compandor reduce el nivel de la señal de audio transmitida codificándola, es decir, comprimiéndola; por otro lado, en la recepción el compandor decodifica, esto es, expande la señal de audio recibida.

El compandor es usado en un sistema celular analógico, para realizar una compresión 2:1 de la señal de voz, con la finalidad de limitar la desviación de frecuencia y al mismo tiempo mejorar la relación señal a ruido.

Interfaz IFC

El IFC es un transmisor y receptor de banda base que hace la interfaz con el módulo del TRX. Este módulo controla las señales analógicas provenientes del micrófono y la señal de recepción para convertirla a audio, hace filtrado y generación de tonos.

De forma general el IFC soporta las siguientes tareas:

- Monitorea BER, RSSI, potencia en el TRX, temperatura y nivel de batería.
- Interfaz al CODEC con convertidores A/D y D/A para la entrada y salida de audio.
- Modulación y demodulación de señales $\pi/4$ DQPSK.
- Interfaz al TRX.
- Referencias de voltaje y corriente internas para calibración *via software*.
- Control de volumen y ganancia.
- Control de *side tone*, monitoreo de nivel de voz.
- Generador de tonos DTMF.
- Generador de *buzzer*.
- Convertidores D/A para control de AFC, AGC y APC.

Codificador-Decodificador

El *codec* (Codificador-Decodificador) es usado para hacer referencia a los circuitos integrados que hacen conversión de datos, es decir que combinan convertidores analógicos / digitales y digitales / analógicos. La arquitectura del *codec* permite soportar las siguientes tareas:

- Generador de tonos.
- Canal para transmisión de audio.
- Canal para recepción de audio.
- Interfaz de datos y de control.

Generador de Tonos

El generador de tonos es usado para la generación de tonos DTMF (*Dual Tone Multi Frequency*, Tonos Duales Multifrecuenciales), tonos de timbrado y otros tonos auxiliares. El control de volumen del generador puede ser controlado por el CBUS.

Los tonos duales multifrecuenciales son generados cada vez que se pulsa una de las teclas de la estación móvil. Cada tecla genera dos tonos de frecuencia específica, para evitar que la voz pueda accionar una función específica para ese tono. Un tono es generado a una alta frecuencia y otro a baja frecuencia. En la tabla 4.1 se muestra la asignación de frecuencias para cada tecla.

| Dígito | Frecuencia Baja (Hz) | Frecuencia Alta (Hz) |
|--------|----------------------|----------------------|
| 1 | 697 | 1209 |
| 2 | 697 | 1336 |
| 3 | 697 | 1477 |
| 4 | 770 | 1209 |
| 5 | 770 | 1336 |
| 6 | 770 | 1477 |
| 7 | 852 | 1209 |
| 8 | 852 | 1336 |
| 9 | 852 | 1477 |
| 0 | 941 | 1209 |
| * | 941 | 1336 |
| # | 941 | 1477 |

Tabla 4.1. Frecuencias para los tonos DTMF.

Canal para Transmisión de Audio

El canal para transmisión de audio recibe la señal proveniente del micrófono incorporado a la estación móvil o bien de uno externo conectado mediante un accesorio de manos libres. Estas entradas son filtradas, amplificadas y convertidas a formato digital. Los datos digitalizados son enviados al BEC vía un *bus* de datos.

Canal para Recepción de Audio

Este canal recibe los datos digitales del BEC y son convertidos a señal analógica mediante un convertidor D/A, para ser enviada a las salidas de audio, esta salida tiene un control de volumen administrado por el procesador principal.

4.4.5. Módulo de Audio

La interfaz de audio consiste de circuitos de audio usados como interfaz con los transductores analógicos, como el micrófono o el auricular, y el módulo de banda base. Consiste de los siguientes circuitos interfaces:

Interfaz del Micrófono

Está formada por un circuito de polarización, un micrófono y por un amplificador.

El circuito de polarización le proporciona al micrófono una señal de corriente directa para su funcionamiento, siendo habilitado mediante la señal de control proveniente del procesador huésped.

El micrófono debe tener un rango de frecuencia de respuesta adecuado para voz. Usualmente se usa un anillo de ferrita en una terminal del micrófono para rechazar la señal de radiofrecuencia del TRX. Cabe mencionar que las características del control de volumen, así como del silenciador del micrófono son ajustadas por medio del *software* del procesador huésped.

El amplificador es usado para amplificar la señal del micrófono antes de ser digitalizada en el bloque de banda base.

Interfaz del Auricular

Consiste de un amplificador de potencia, de un filtro para rechazar el ruido del TRX y de un auricular.

El amplificador de potencia es usado para darle a la señal de banda base la ganancia necesaria para ser audible, mientras que el filtro supresor de ruido es utilizado para eliminar el ruido captado por el auricular de la antena del TRX.

El auricular debe ser capaz de generar un rango de frecuencias audible para el ser humano. El control de volumen y del silenciador son ajustados por el usuario.

Interfaz del Buzzer

La interfaz del *buzzer* consiste de un interruptor controlado por el módulo de banda base a través de una señal variable y que es alimentada al *buzzer*. El control de volumen y del silenciador del *buzzer* son ajustados por el usuario.

Interfaz de Audio Frecuencia de Recepción (Rx AF)

Consiste de un filtro para eliminar el ruido proveniente del módulo de banda base.

Interfaz de Audio Frecuencia de Transmisión (Tx AF)

Consiste de un amplificador con la finalidad de proporcionar una ganancia a la señal proveniente del micrófono antes de ser digitalizada en el módulo de banda base.

4.4.6. Módulo de Entrada / Salida (I/O)

La interfaz entrada / salida (I/O) es el medio de interconexión entre la sección lógica y el conector externo de entrada /salida (I/O), consiste de las siguientes interfaces:

- **Detección de accesorios:** esta interfaz consiste de una señal que indica al MCPU la presencia de un accesorio en el conector de entrada / salida (I/O). Esta interfaz tiene una protección contra sobrevoltajes.
- **Interfaz de Audio:** la interfaz de audio consiste de dos señales Rx AF y Tx AF, usadas como interfaz entre el CODEC contenido en el IFC y los accesorios externos. También presentan un dispositivo para protección de sobrevoltajes.
- **Interfaz de Carga:** La señal de carga consiste de las siguientes señales. CHG+, TMP y SENSE. La señal CHG+ es usada para proveer una corriente de carga hacia la batería principal vía conector externo de entrada / salida (I/O). La señal TMP es usada para indicarle al cargador colocado en el conector externo de entrada / salida (I/O) la temperatura de la batería y por último la señal SENSE le indica al cargador el tipo de batería que se está usando.

Alimentación Externa

La alimentación externa consiste de la señal de interfaz EXT_DC. Esta señal es usada para proveer la alimentación externa de corriente directa desde el conector externo de entrada / salida (I/O) hacia la sección lógica.

La comunicación entre el MCPU y los accesorios externos vía conector externo de entrada / salida (I/O) se realiza por medio de un *bus* denominado FBUS.

Conector Externo de Entrada / Salida (I/O)

Este conector permite agregar accesorios externos a la sección lógica, además de proveer el medio de interfaz entre todas las señales de control y de alimentación.

Los temas descritos en los primeros cuatro capítulos de este trabajo aportan los conceptos y la información necesaria para comprender el funcionamiento de una estación móvil, así como su operación dentro del sistema celular; con base en lo anterior se desarrollará en el siguiente capítulo un conjunto de procedimientos de pruebas que permitan verificar el desempeño de una estación móvil, considerando los estándares creados por las agencias de regulación.

CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS

En este capítulo se presentará la integración de los procedimientos de pruebas desarrollados para la medición de los parámetros característicos de funcionamiento de teléfonos móviles *dual mode*, y que operan tanto en banda celular como en banda PCS, usando como método de acceso TDMA.

5.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los procedimientos están basados en la teoría de telefonía móvil general, desarrollada en los capítulos previos, con la finalidad de ser aplicables a cualquier tipo de teléfono móvil que opere dentro de los requerimientos de desempeño que indica el estándar IS-137, independientemente del fabricante.

Los procedimientos están presentados en diagramas de flujo, proporcionando una secuencia de pasos base a seguir, los cuales se adecuan a cada modelo, considerando sus comandos de acceso y programación respectivos.

Para la aplicación de las pruebas se utilizó un equipo de medición para comunicaciones móviles, Hewlett Packard, modelo HP 8920B, cuyas especificaciones se muestran en el apéndice C.

Para ejemplificar la aplicación de los procedimientos de pruebas siguientes, se utilizará un teléfono móvil marca NEC, modelo NEX 2600, cuyas especificaciones se enlistan en el apéndice B, ya que este modelo tiene la capacidad de operar en *dual mode*, *dual band*. Este teléfono es una estación móvil clase IV, que operando en modo analógico cuenta con ocho niveles de potencia (del 0 al 7), siendo los niveles máximos 0, 1 y 2, mientras que su nivel medio es el número 5. Por otro lado, cuando opera en modo digital, cuenta con once niveles de potencia (del 0 al 10), siendo los niveles máximos 0, 1 y 2, el nivel medio es el número 6.

Todos los procedimientos de pruebas mencionados en este capítulo, están referenciados a los estándares de la norma IS-137, la cual establece los requerimientos de desempeño de las estaciones móviles *dual mode* y *dual band*.

5.2. FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN

La frecuencia de transmisión es la frecuencia a la que el teléfono móvil transmite, dependiendo del canal de voz o de tráfico seleccionado. El cálculo de una frecuencia en función del número de canal se obtiene con las fórmulas indicadas en las tablas 1.4 y 1.7.

5.2.1. Medición de Frecuencia de Tx en Modo Analógico, Banda Celular

El objetivo de esta prueba es el de determinar el error de frecuencia al obtener la diferencia entre la frecuencia asignada por la norma y la frecuencia medida del teléfono móvil, en un canal de voz específico dentro de la banda celular. El diagrama de flujo correspondiente a esta prueba se muestra en el diagrama 5.1.

Para obtener el error en frecuencia de transmisión en un canal de voz de la banda celular, es necesario transmitir únicamente la señal portadora del canal seleccionado, es decir, sin ninguna fuente de señal externa, por lo que es necesario desactivar el micrófono del teléfono móvil. Se debe considerar un nivel de potencia de transmisión máximo, con la finalidad de simular las condiciones extremas de funcionamiento del transmisor.

Se inicia la transmisión / recepción encendiendo el amplificador de potencia, para poder obtener en el equipo de medición la frecuencia de transmisión del teléfono móvil; esta lectura se compara con el estándar y se obtiene el error, el cual debe estar en un rango de ± 1.5 ppm. Con el valor del error obtenido se puede determinar si el funcionamiento del transmisor del teléfono móvil es el correcto o si debe entrar a un modo de ajuste, en donde se debe corregir la frecuencia de referencia del TXCO. Una vez verificado el buen funcionamiento del teléfono móvil es necesario apagar el amplificador de potencia antes de salir del modo de prueba.

Para efectos prácticos, el procedimiento se puede aplicar seleccionando tanto un canal de frecuencia baja, como uno de media o uno de alta. Estos canales se muestran en la tabla 5.1.

| Frecuencia | Número de Canal | Frecuencia del Transmisor (MHz) |
|------------|-----------------|---------------------------------|
| Baja | 991 | 824.040 |
| Media | 383 | 836.490 |
| Alta | 799 | 848.970 |

Tabla 5.1. Frecuencias de transmisión para los canales de prueba recomendados en modo analógico, banda celular.

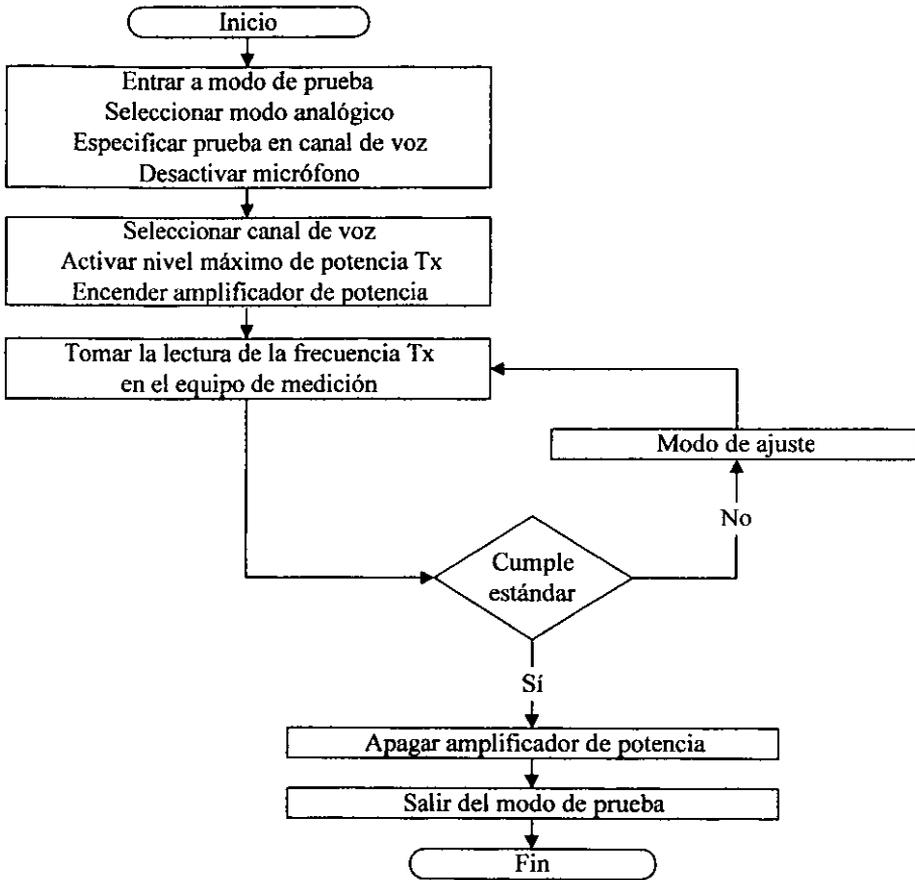


Diagrama 5.1. Medición de frecuencia de Tx en modo analógico, banda celular.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.2 se muestra la aplicación del procedimiento anterior, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y efectuando un análisis de RF en el equipo de medición HP 8920B.

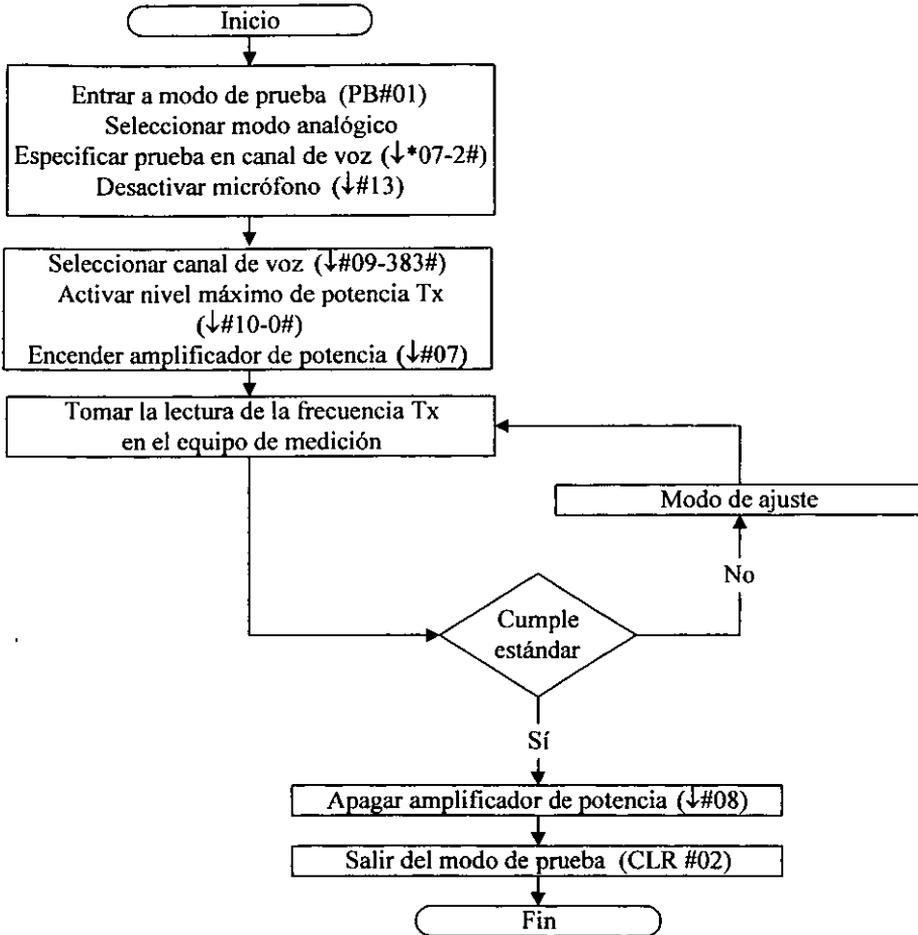


Diagrama 5.2. Medición de frecuencia de Tx en modo analógico, banda celular. (Aplicación).

En la figura 5.1 se muestra la pantalla del equipo de medición HP 8920B para este procedimiento, en el ángulo superior izquierdo se observa la frecuencia de transmisión de 836.489 MHz. Para poder determinar si esta lectura se encuentra dentro del estándar de ± 1.5 ppm, se determina el intervalo del error permisible para la frecuencia del canal 383, quedando de la siguiente forma:

$$-1254.735 \leq \text{error permisible} \leq 1254.735 \text{ [Hz]}$$

Por otro lado, el error se calcula con la diferencia entre la frecuencia del canal 383 y la frecuencia leída, quedando de la siguiente forma:

$$\text{Error} = 836.490 - 836.489 = 0.001 \text{ MHz}$$

Con base en lo anterior se concluye que el error de 1000 Hz se encuentra dentro del rango permisible que marca el estándar.

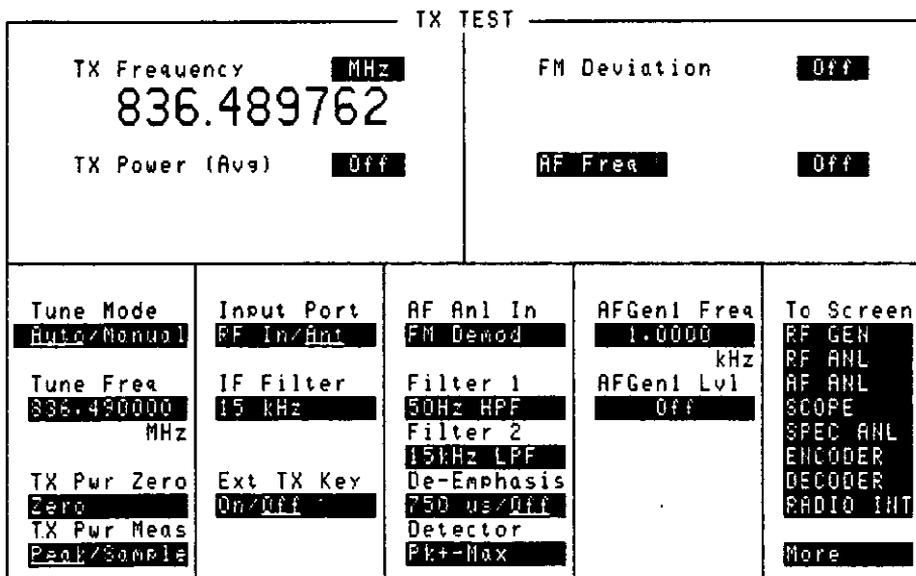


Figura 5.1. Medición de frecuencia de Tx en modo analógico, banda celular. (Resultado).

5.2.2. Medición de Frecuencia Tx en Modo Digital, Banda Celular

El objetivo de esta prueba es el de determinar el error de frecuencia, al obtener la diferencia entre la frecuencia asignada por la norma y la frecuencia del teléfono móvil, en un canal de tráfico digital específico, dentro de la banda celular. El diagrama de flujo correspondiente a esta prueba se muestra en el diagrama 5.3.

Para obtener el error en frecuencia de transmisión en un canal de tráfico digital de la banda celular, es necesario transmitir únicamente la señal portadora del canal seleccionado, es decir, sin ninguna fuente de señal externa, por lo que es necesario desactivar el micrófono del teléfono móvil. Se debe considerar un nivel de potencia de transmisión máximo, con la finalidad de simular las condiciones extremas de funcionamiento del transmisor.

Se inicia la transmisión / recepción en TDMA encendiendo el amplificador de potencia, para poder leer en el equipo de medición la frecuencia de transmisión del teléfono móvil; esta lectura se compara con el estándar y se obtiene el error, el cual debe estar en un rango de ± 180 Hz. Con el valor del error obtenido se puede determinar si el funcionamiento del transmisor del teléfono móvil es el correcto o si debe entrar a un modo de ajuste, en donde se debe corregir la frecuencia del TXCO. Una vez verificado el buen funcionamiento del teléfono móvil es necesario apagar el amplificador de potencia antes de salir del modo de prueba.

Para efectos prácticos, el procedimiento se puede aplicar seleccionando tanto un canal de frecuencia baja, como uno de media o uno de alta. Estos canales se muestran en la tabla 5.2.

| Frecuencia | Número de Canal | Frecuencia del Transmisor (MHz) |
|------------|-----------------|---------------------------------|
| Baja | 991 | 824.040 |
| Media | 383 | 836.490 |
| Alta | 799 | 848.970 |

Tabla 5.2. Frecuencias de transmisión para los canales de prueba recomendados en modo digital, banda celular.

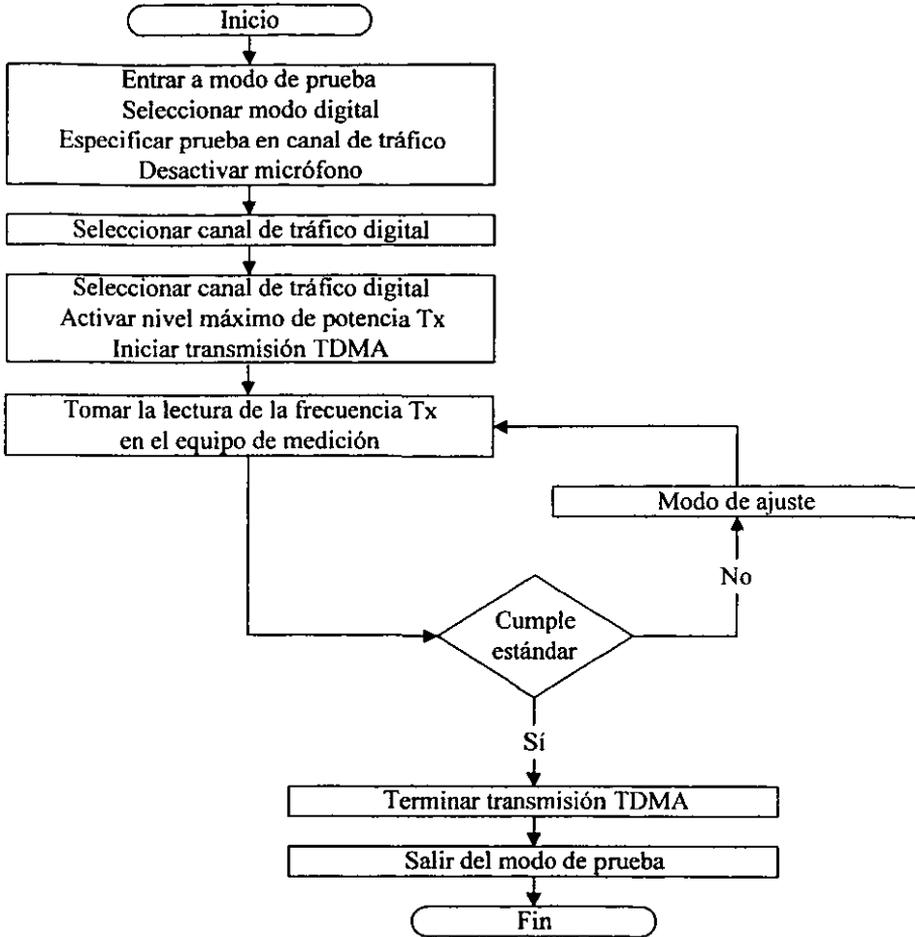


Diagrama 5.3. Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda celular.

Aplicación del Procedimiento

La aplicación de este procedimiento se muestra en el diagrama 5.4, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis digital.

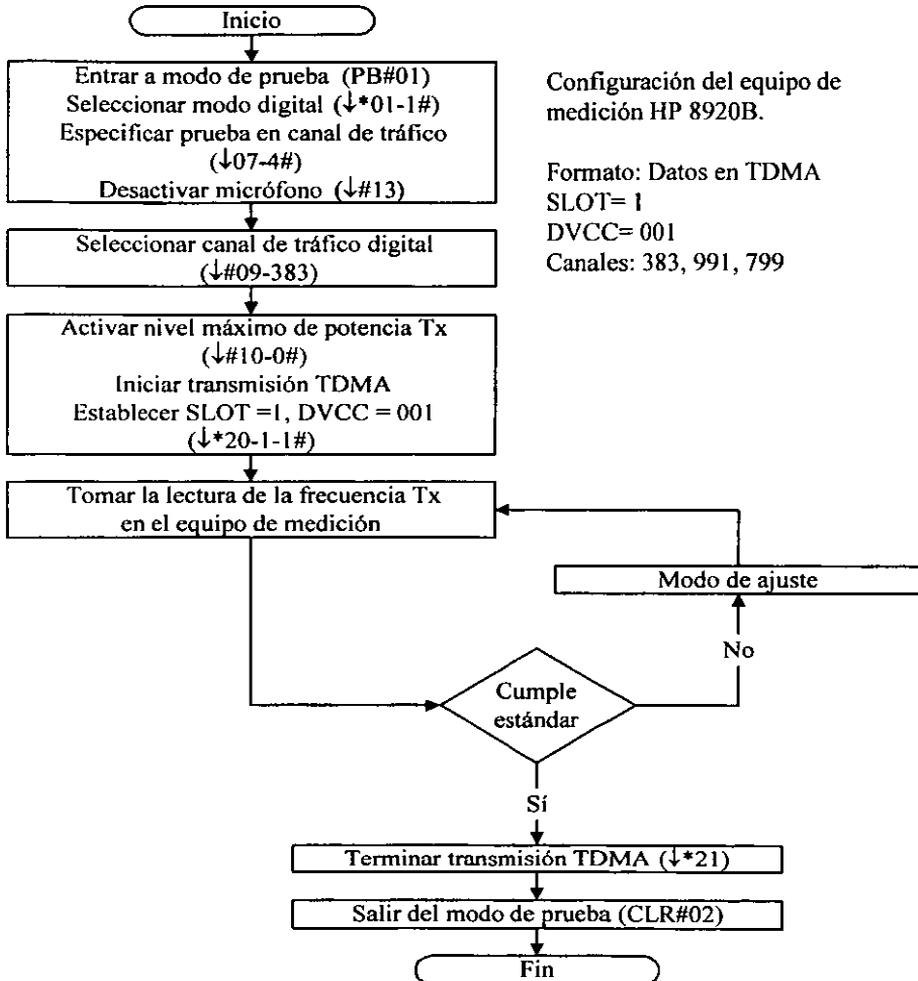


Diagrama 5.4. Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda celular. (Aplicación).

En la figura 5.2 se muestra la pantalla del equipo de medición HP 8920B para este procedimiento, se observa el error de frecuencia de transmisión de -10.819001 Hz, cuando el teléfono móvil transmite en el canal de tráfico 383. Se compara esta lectura con el estándar de ± 180 Hz, concluyendo que el teléfono móvil transmite en dentro del rango de frecuencia correcto.

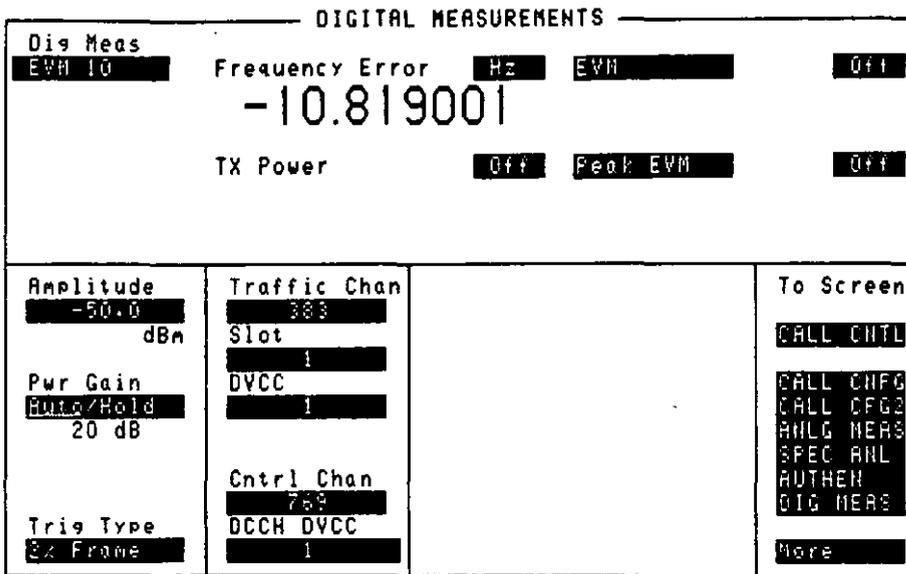


Figura 5.2. Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda celular. (Resultado).

5.2.3. Medición de Frecuencia Tx en Modo Digital, Banda PCS

El objetivo de esta prueba es el de determinar el error de frecuencia, al obtener la diferencia entre la frecuencia asignada por la norma y la frecuencia del teléfono móvil en un canal de tráfico específico, dentro de la banda PCS. El diagrama para esta prueba se muestra en el diagrama 5.5.

Para medir el error en frecuencia de transmisión en un canal de voz de la banda PCS, es necesario transmitir únicamente la señal portadora del canal seleccionado, es decir, sin ninguna fuente de señal externa, por lo que es necesario desactivar el micrófono del teléfono móvil. Se debe considerar un nivel de potencia de transmisión máximo, con la finalidad de simular las condiciones extremas de funcionamiento del transmisor.

Se inicia la transmisión / recepción en TDMA encendiendo el amplificador de potencia, para poder obtener en el equipo de medición la frecuencia de transmisión del teléfono móvil; esta lectura se compara con el estándar y se obtiene el error, el cual debe estar en un rango de ± 180 Hz. Con el valor del error obtenido se puede determinar si el funcionamiento del transmisor del teléfono móvil es el correcto o si debe entrar a un modo de ajuste, en donde se debe corregir la frecuencia del TXCO. Una vez verificado el buen funcionamiento del teléfono móvil, es necesario apagar el amplificador de potencia antes de salir del modo de prueba.

Para efectos prácticos el procedimiento se puede aplicar seleccionando tanto un canal de frecuencia baja, como uno de media o uno de alta. Estos canales se muestran en la tabla 5.3.

| Frecuencia | Número de Canal | Frecuencia del Transmisor (MHz) |
|------------|-----------------|---------------------------------|
| Baja | 2 | 1850.040 |
| Media | 1000 | 1880.010 |
| Alta | 1998 | 1909.920 |

Tabla 5.3. Frecuencias de transmisión para los canales de prueba recomendados en modo digital, banda PCS.

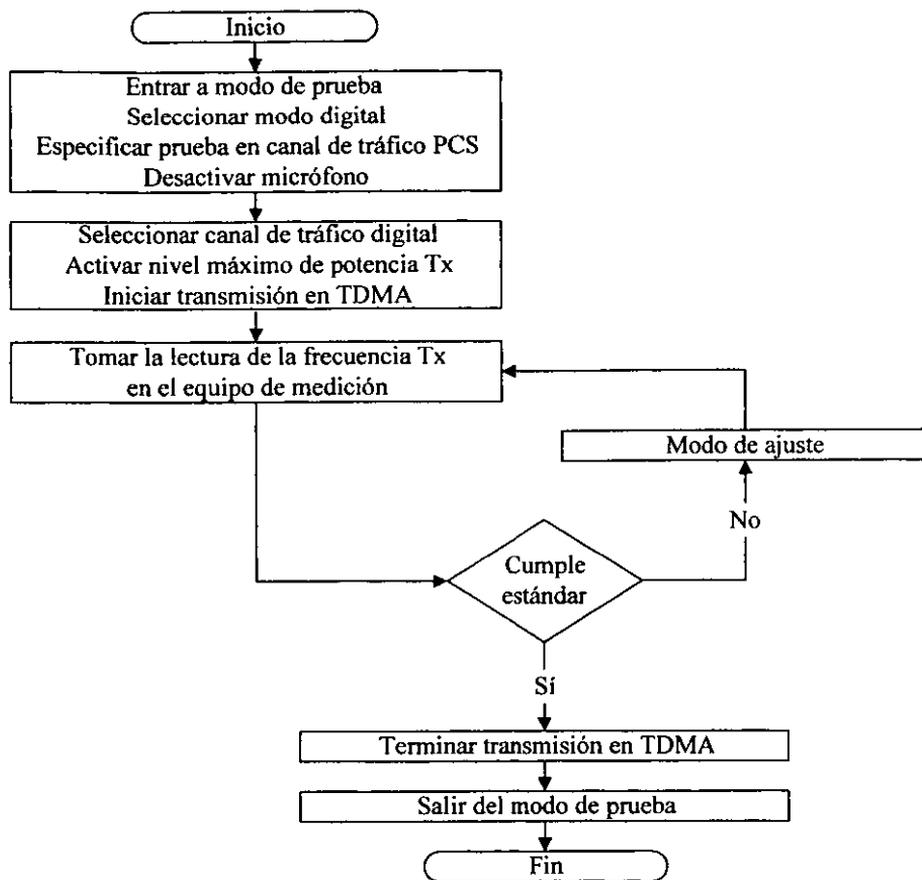


Diagrama 5.5. Medición de frecuencia de Tx en modo digital, banda PCS.

Aplicación del Procedimiento

La aplicación de este procedimiento se muestra en el diagrama 5.6, incluyendo los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración requerida en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis digital.

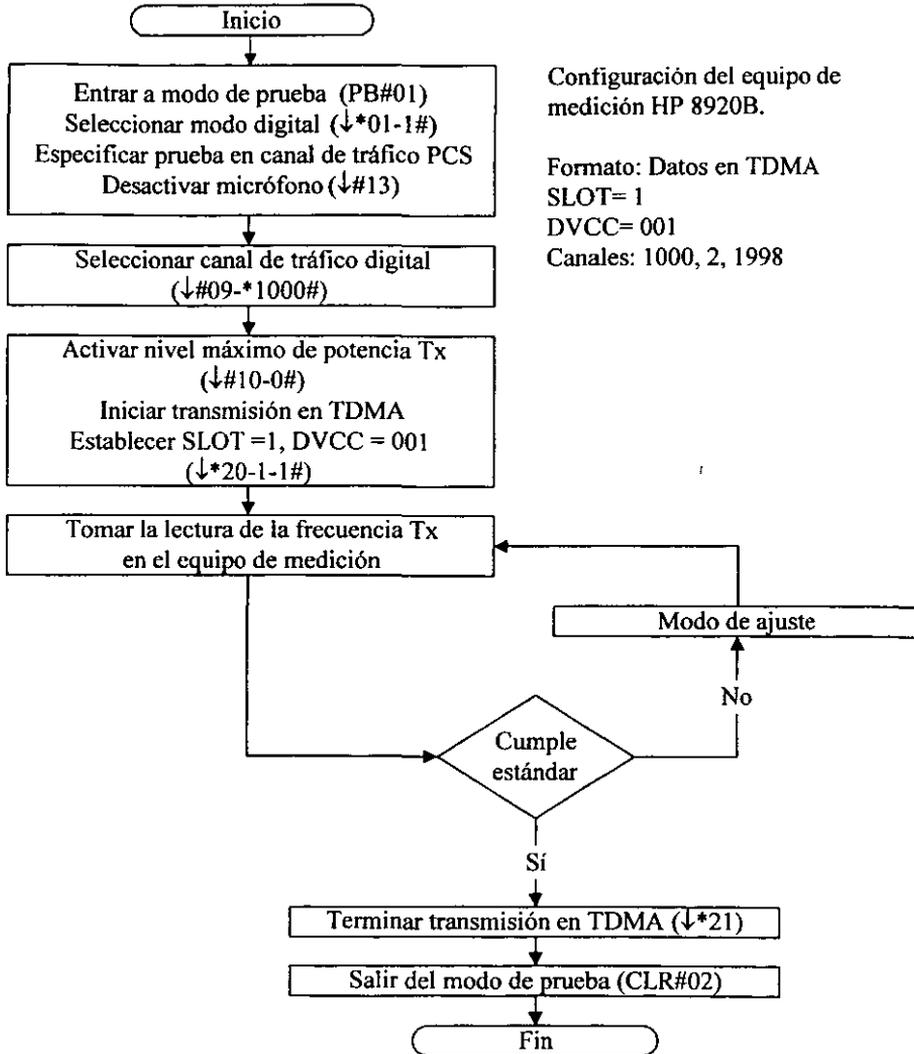


Diagrama 5.6. Medición de frecuencia Tx en modo digital, banda PCS. (Aplicación).

En la figura 5.3 se muestra la pantalla del equipo de medición HP 8920B para este procedimiento, se observa el error de frecuencia de transmisión de -21.328 Hz, cuando el teléfono móvil transmite en el canal de tráfico 1000. Se compara esta lectura con el estándar de ± 180 Hz, concluyendo que el teléfono móvil transmite en dentro del rango de frecuencia correcto.

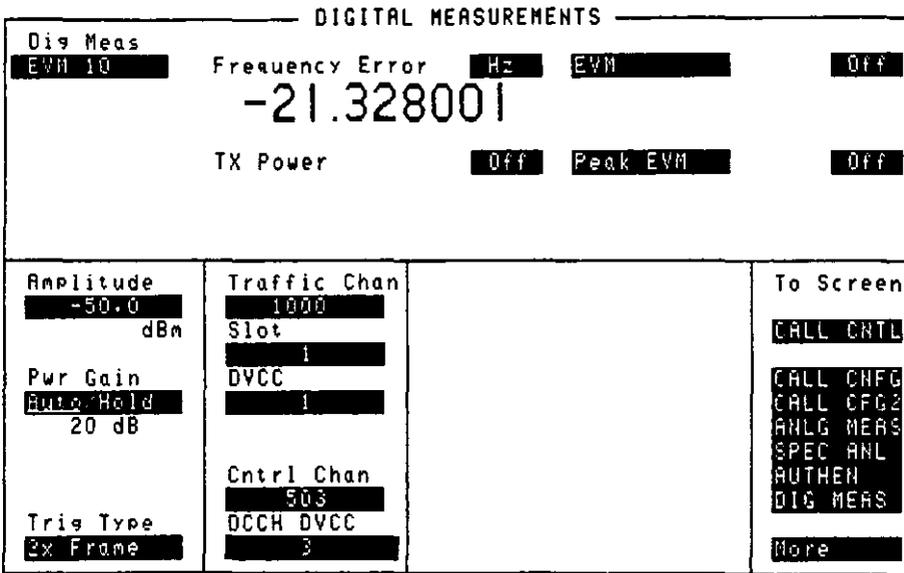


Figura 5.3. Medición de frecuencia Tx en modo digital, banda PCS. (Resultado).

5.3. POTENCIA DE TRANSMISIÓN

Estos procedimientos están desarrollados para obtener la potencia transmitida por un teléfono móvil y compararla con las especificaciones para cada nivel de potencia, indicadas en las tablas 2.3 y 2.4, para la banda celular o PCS. Es importante conocer la clase del teléfono móvil que se somete a la prueba para tomar en cuenta los valores de las reducciones de potencia así como sus tolerancias.

5.3.1. Medición de Potencia de Tx en Modo Analógico, Banda Celular

El objetivo de este procedimiento es obtener la potencia transmitida por un teléfono móvil operando en modo analógico y en la banda celular, las especificaciones para cada nivel de potencia (0 al 7) están indicadas en la tabla 2.3. El diagrama de flujo para esta medición se muestra en el diagrama 5.7.

Esta prueba es realizada en un canal de voz en la banda celular y es necesario desactivar el micrófono del teléfono móvil para no tener ninguna fuente de señal externa. Se inicia el procedimiento de prueba en un canal de frecuencia media, ya que al trabajar en este canal se afecta en la misma proporción la potencia de los canales extremos.

Es necesario encender el amplificador de potencia y activar el nivel máximo de potencia, para obtener la lectura transmitida por el teléfono móvil y compararla con el estándar que corresponde a ese nivel. Con esta lectura se puede determinar si el teléfono móvil requiere entrar al modo de ajuste para corregir la ganancia del amplificador de potencia, en caso contrario, se repite la operación con el siguiente nivel de potencia. Este ciclo se repite hasta completar la medición de cada uno de los niveles de potencia, dependiendo de la clase del teléfono móvil.

Para determinar la respuesta del amplificador en los diferentes niveles de frecuencia, después de realizar el ciclo de medición de cada uno de los niveles de potencia para la frecuencia media, es conveniente realizar la comprobación del nivel máximo de potencia en los canales de baja y alta frecuencia.

Se debe considerar que las mediciones obtenidas se ven afectadas por las pérdidas causadas por cables de RF, conectores externos, así como alguna otra pérdida especificada por el fabricante del teléfono móvil. Es importante que dichas pérdidas sean consideradas en la medición, para la correcta comparación y ajuste con los valores indicados en la tabla de potencia para cada banda de operación. Para salir del modo de prueba es necesario apagar el amplificador de potencia.

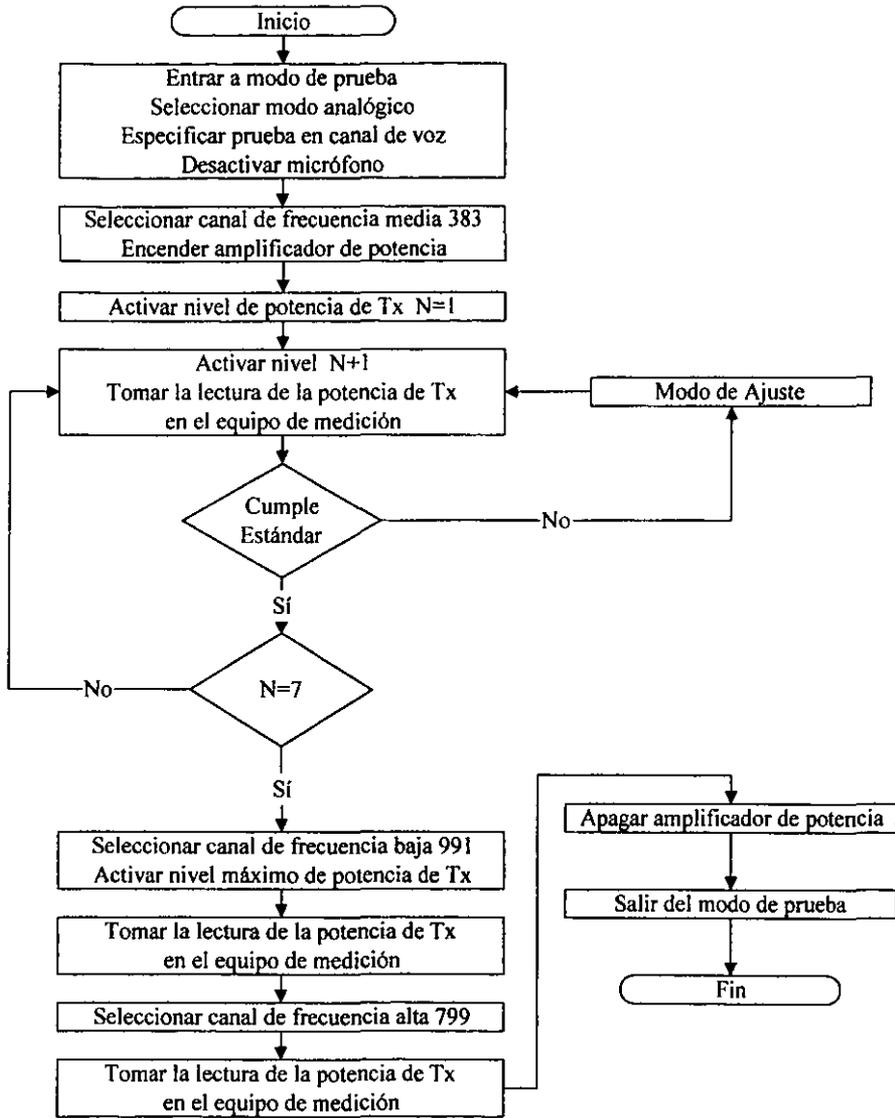


Diagrama 5.7. Medición de potencia de Tx en modo analógico, banda celular.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.8 se muestra la aplicación del procedimiento antes mencionado, con las consideraciones específicas de los comandos del teléfono móvil NEX 2600 y efectuando un análisis de RF en el equipo de medición.

Para efectos prácticos, a continuación se muestran 3 niveles de potencia representativos para la aplicación de este procedimiento y se debe considerar un incremento de 1 dB, debido a la pérdida de potencia que este modelo de teléfono móvil presenta en su circuito TRX, según especificaciones del fabricante; así como un incremento de 0.4 dB por las pérdidas causadas por los cables de RF.

En las figuras 5.4, 5.5 y 5.6 se muestran las pantallas del equipo de medición para los niveles de potencia 0 (máximo), 5 (medio) y 7 (mínimo) respectivamente, transmitiendo a la frecuencia del canal 383.

En la figura 5.4 se observa que la potencia de transmisión es de 26.03 dBm y considerando las pérdidas tenemos un valor de 27.43 dBm. Por otro lado, en la figura 5.5 se observa que la potencia de transmisión es de 14.96 dBm y considerando las pérdidas tenemos un valor de 16.36 dBm. Finalmente, en la figura 5.6 se observa que la potencia de transmisión es de 6.76 dBm, considerando las pérdidas se tiene 8.16 dBm.

Para determinar si estos niveles de potencia son adecuados, es necesario compararlos con los rangos que indica el estándar para cada uno de los niveles de potencia, como se muestra a continuación:

| | |
|--------------|--|
| Nivel Máximo | $24 \leq \text{potencia permisible} \leq 30$ [dBm] |
| Nivel Medio | $12 \leq \text{potencia permisible} \leq 18$ [dBm] |
| Nivel Mínimo | $4 \leq \text{potencia permisible} \leq 10$ [dBm] |

De la comparación de los valores anteriores se observa que todas las lecturas obtenidas se encuentran dentro de los rangos que indica el estándar, concluyendo que el teléfono móvil está transmitiendo correctamente para en los niveles de potencia máximo, medio y mínimo.

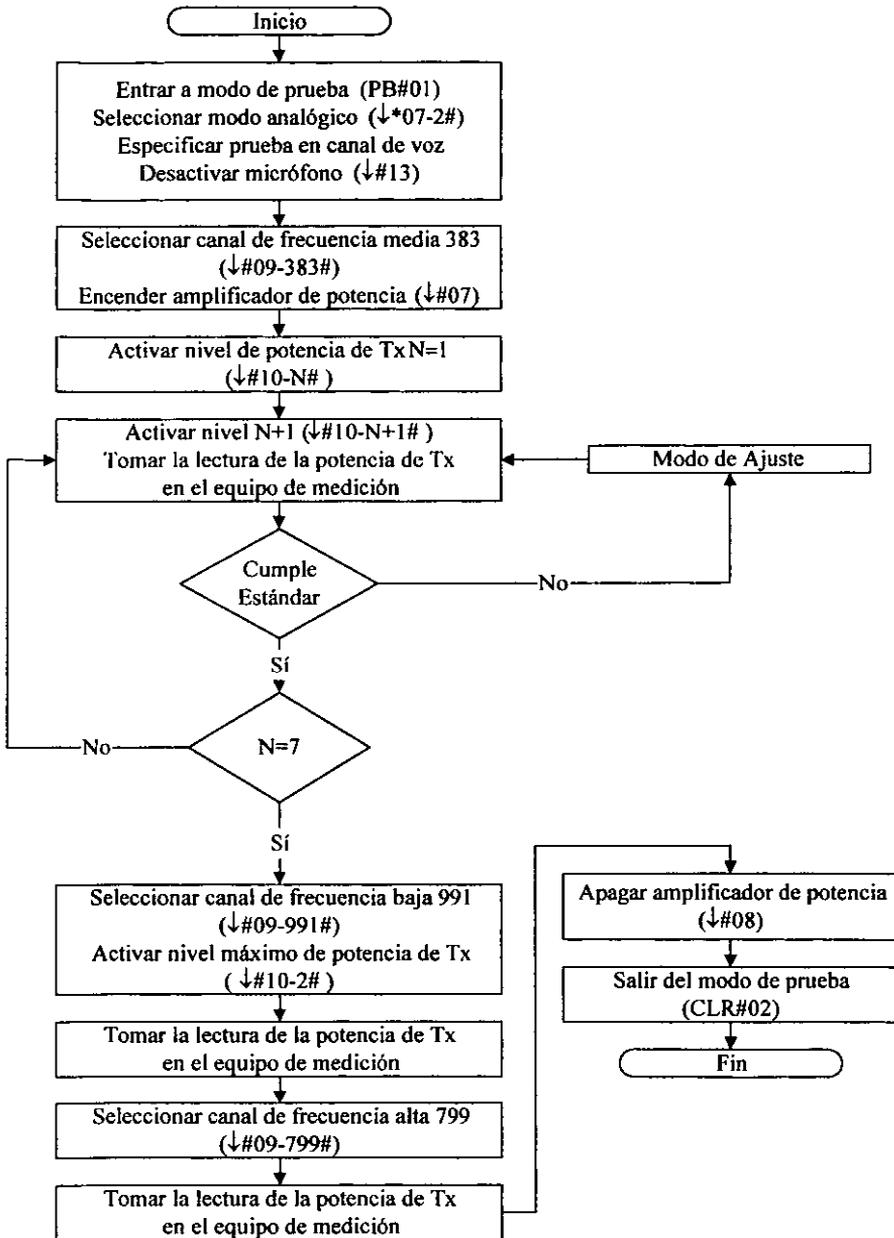


Diagrama 5.8. Medición de potencia de Tx en modo analógico, banda celular. (Aplicación).

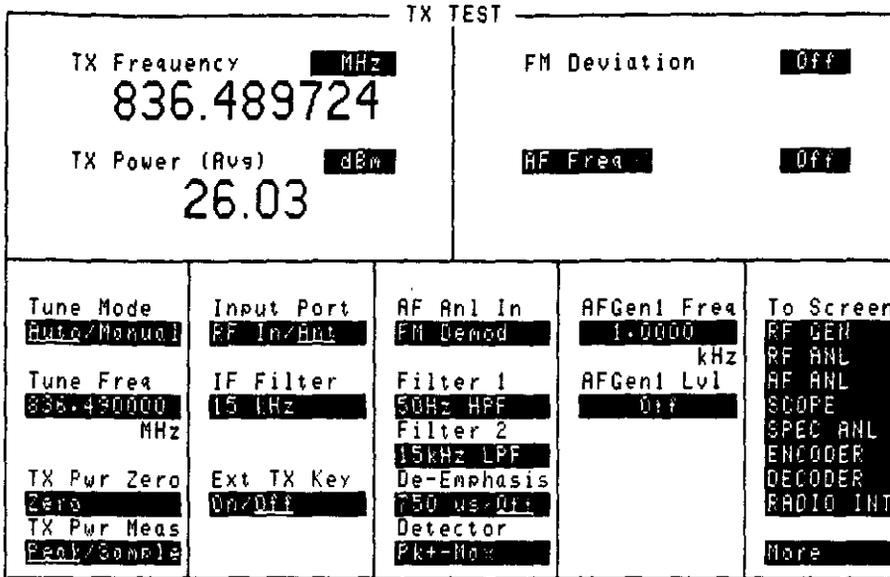


Figura 5.4. Medición de nivel de potencia 0 Tx modo analógico, banda celular. (Resultado).

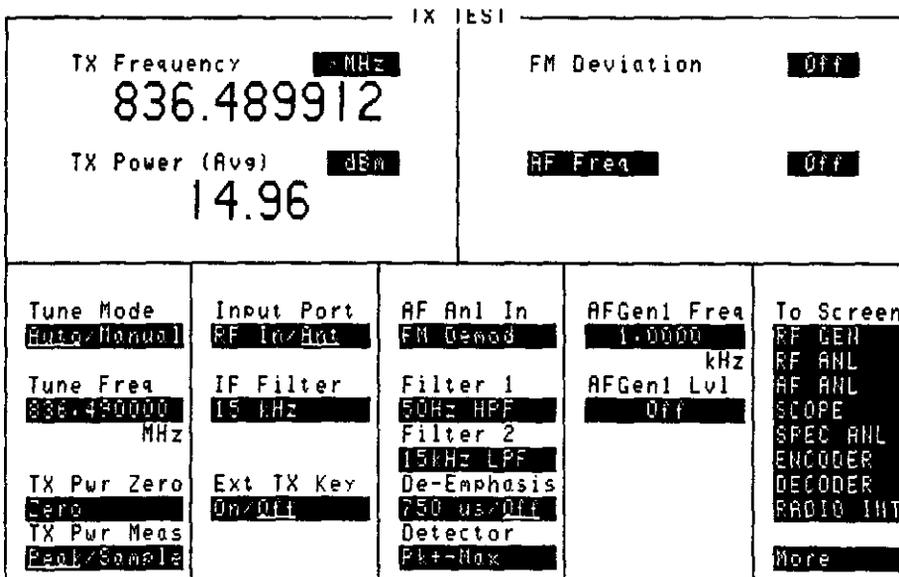


Figura 5.5. Medición de nivel de potencia 5 Tx modo analógico, banda celular. (Resultado).

| TX TEST | | | | |
|--|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| TX Frequency MHz 836.489862 | | FM Deviation Off | | |
| TX Power (Avg) dBm 6.76 | | AF Freq Off | | |
| Tune Mode Auto/Manual | Input Port RF In/Ant | AF Anl In FM Demod | AFGen1 Freq 1.0000 kHz | To Screen RF GEN |
| Tune Freq 836.490000 MHz | IF Filter 15 kHz | Filter 1 50Hz HPF | AFGen1 Lvl Off | RF ANL |
| TX Pwr Zero Zero | Ext TX Key On/Off | Filter 2 15kHz LPF | | SCOPE |
| TX Pwr Meas Peak/Sample | | De-Emphasis 750 us/Off | | SPEC ANL |
| | | Detector PK+-Max | | ENCODER |
| | | | | DECOOER |
| | | | | RADIO INT |
| | | | | More |

Figura 5.6. Medición de nivel de potencia 7 Tx modo analógico, banda celular. (Resultado).

5.3.2 Medición de Potencia de Tx en Modo Digital, Banda Celular

Este procedimiento tiene como objetivo el de obtener la potencia transmitida por un teléfono móvil operando en modo digital y en banda celular, para compararla con las especificaciones para cada nivel de potencia indicadas en la tabla 2.3. El diagrama de flujo para esta medición se muestra en el diagrama 5.9.

Este procedimiento se realiza en un canal de tráfico digital en la banda celular, desactivando el micrófono del teléfono móvil para no tener ninguna fuente de señal externa. El procedimiento de prueba se inicia en un canal de frecuencia media, para afectar en la misma proporción la potencia de los canales extremos.

La transmisión en TDMA se inicia encendiendo el amplificador y activando el nivel máximo de potencia, y de esta forma obtener la lectura de la potencia transmitida por el teléfono móvil y compararla con el estándar correspondiente a ese nivel. Con esta lectura se puede determinar si el teléfono móvil requiere entrar al modo de ajuste y adecuar al estándar la ganancia del amplificador de potencia, en caso contrario, se repite el ciclo con el siguiente nivel de potencia hasta obtener la lectura de cada uno de los niveles de potencia.

Una vez ajustada la potencia del transmisor en frecuencia media, es conveniente realizar la comprobación en los canales de baja y alta frecuencia, a un nivel máximo de potencia, para determinar la respuesta del amplificador en estos canales.

Es importante considerar las pérdidas causadas por los cables de RF, conectores externos y las especificadas por el fabricante, para la correcta comparación y ajuste de las mediciones obtenidas.

Para terminar la transmisión en TDMA, se necesita apagar el amplificador de potencia y salir del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

El procedimiento descrito se muestra de manera gráfica en el diagrama 5.10, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración necesaria para el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis digital.

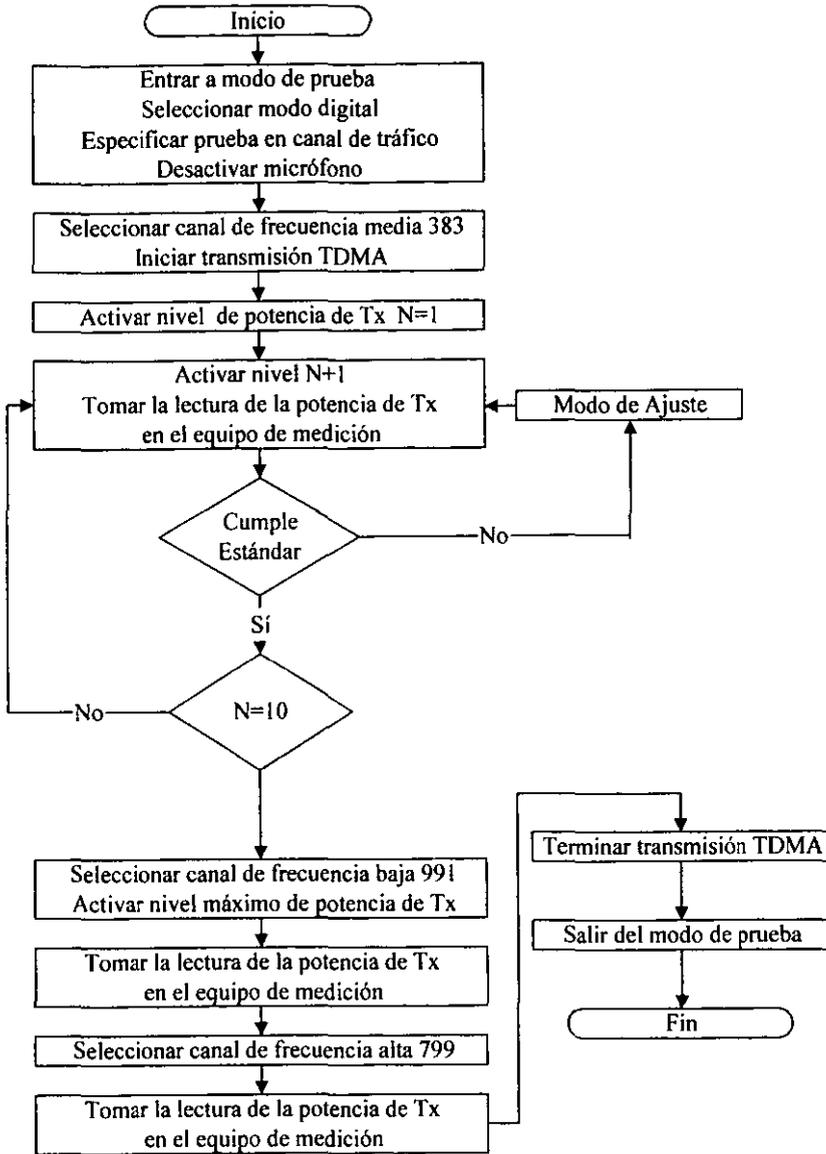


Diagrama 5.9. Medición de potencia de Tx en modo digital, banda celular.

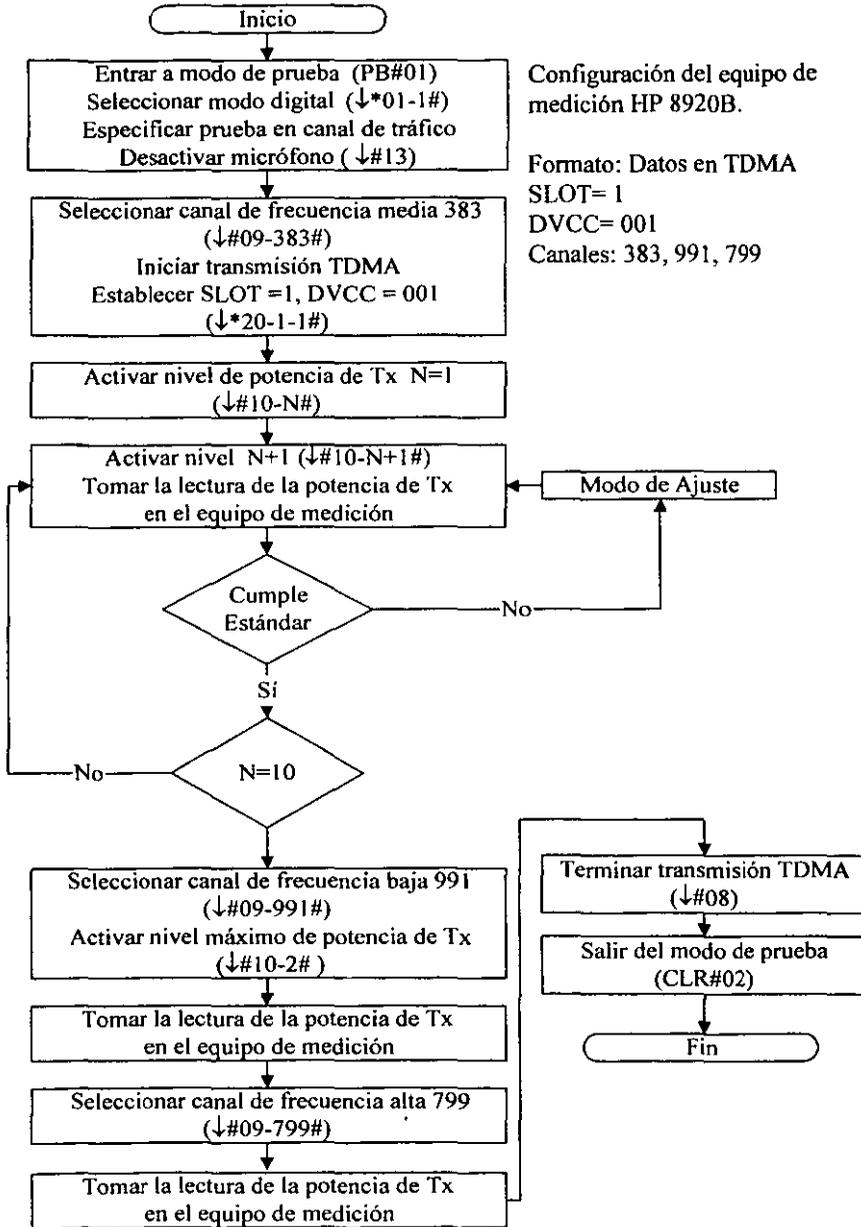


Diagrama 5.10. Medición de potencia de Tx en modo digital, banda celular. (Aplicación).

Para efectos prácticos, a continuación se muestran 3 niveles de potencia representativos para la aplicación de este procedimiento y se debe considerar un incremento de 1 dB, según especificaciones del fabricante, debido a la pérdida de potencia que este modelo de teléfono móvil presenta en su circuito TRX y un incremento de 0.4 dB causados por los cables de RF.

En las figuras 5.7, 5.8 y 5.9 se muestran las pantallas del equipo de medición para los niveles de potencia 0 (máximo), 5 (medio) y 10 (mínimo) respectivamente, transmitiendo a la frecuencia del canal de tráfico 383.

En la figura 5.7 se observa que la potencia de transmisión es de 26.06 dBm y considerando las pérdidas tenemos un valor de 27.46 dBm. Por otro lado, en la figura 5.8 se observa que la potencia de transmisión es de 15.04 dBm y considerando las pérdidas tenemos un valor de 16.44 dBm. Finalmente, en la figura 5.9 se observa que la potencia de transmisión es de -8.96 dBm, considerando las pérdidas se tiene -7.56 dBm.

Para determinar si estos niveles de potencia son adecuados, es necesario compararlos con los rangos que indica el estándar para cada uno de los niveles de potencia, como se muestra a continuación:

| | |
|--------------|--|
| Nivel Máximo | $24 \leq \text{potencia permisible} \leq 30$ [dBm] |
| Nivel Medio | $12 \leq \text{potencia permisible} \leq 18$ [dBm] |
| Nivel Mínimo | $-13 \leq \text{potencia permisible} \leq 5$ [dBm] |

De la comparación de los valores anteriores se observa que todas las lecturas obtenidas se encuentran dentro de los rangos que indica el estándar, concluyendo que el teléfono móvil está transmitiendo correctamente para en los niveles de potencia máximo, medio y mínimo.

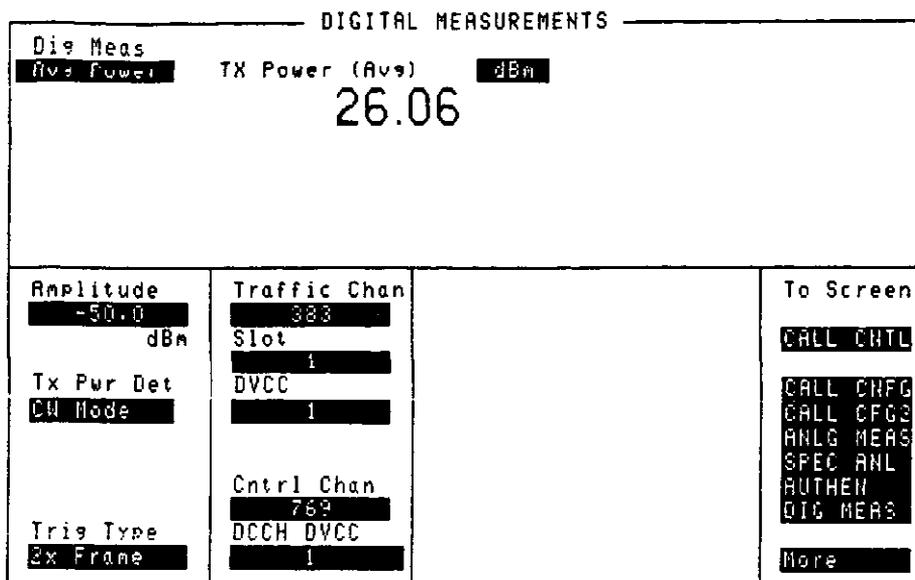


Figura 5.7. Medición de nivel de potencia 0 Tx modo digital, banda celular. (Resultado).

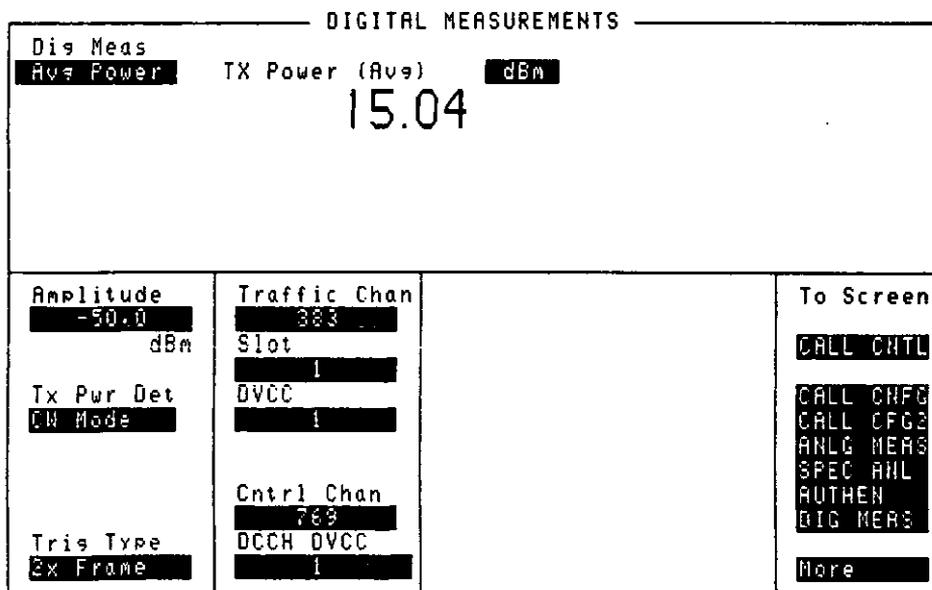


Figura 5.8. Medición de nivel de potencia 5 Tx modo digital, banda celular. (Resultado).

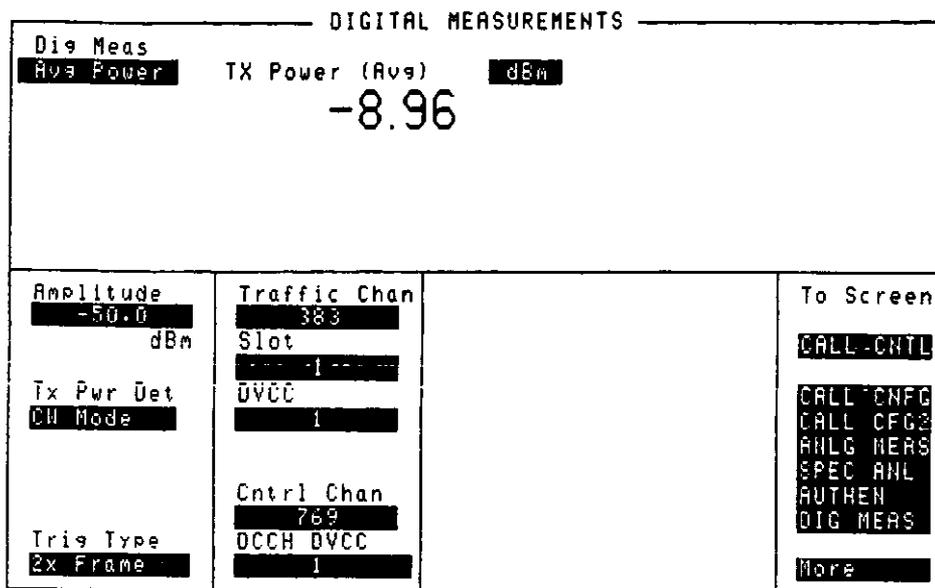


Figura 5.9. Medición de nivel de potencia 7 Tx modo digital, banda celular. (Resultado).

5.3.3 Medición de Potencia de Tx en Modo Digital, Banda PCS

Este procedimiento tiene como objetivo el de obtener la potencia transmitida por un teléfono móvil operando en modo digital y en banda PCS, para compararla con las especificaciones para cada nivel de potencia indicadas en la tabla 2.4. El diagrama de flujo para esta medición se muestra en el diagrama 5.11.

Este procedimiento se realiza en un canal de tráfico en la banda PCS, desactivando el micrófono del teléfono móvil para no tener ninguna fuente de señal externa. El procedimiento de prueba se inicia en un canal de frecuencia media, ya que al trabajar en este canal se afecta en la misma proporción la potencia de los canales extremos.

La transmisión en TDMA se inicia encendiendo el amplificador y activando el nivel máximo de potencia, obteniendo de esta forma la lectura de la potencia transmitida por el teléfono móvil y comparándola con el estándar correspondiente a ese nivel. Con esta lectura se puede determinar si el teléfono móvil requiere entrar al modo de ajuste para corregir la ganancia del amplificador de potencia, en caso contrario, se repite el ciclo con el siguiente nivel de potencia hasta completar la medición de cada uno de los niveles de potencia.

Una vez ajustada la potencia del transmisor en frecuencia media, es conveniente realizar la comprobación en los canales de baja y alta frecuencia, y a un nivel máximo de potencia, para determinar la respuesta del amplificador en estos canales.

Es importante considerar las pérdidas causadas por los cables de RF, conectores externos y las especificadas por el fabricante, para la correcta comparación y ajuste de las mediciones obtenidas.

Para terminar la transmisión en TDMA, es necesario apagar el amplificador de potencia y salir del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.12 se muestra la aplicación del procedimiento descrito, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis digital correspondiente.

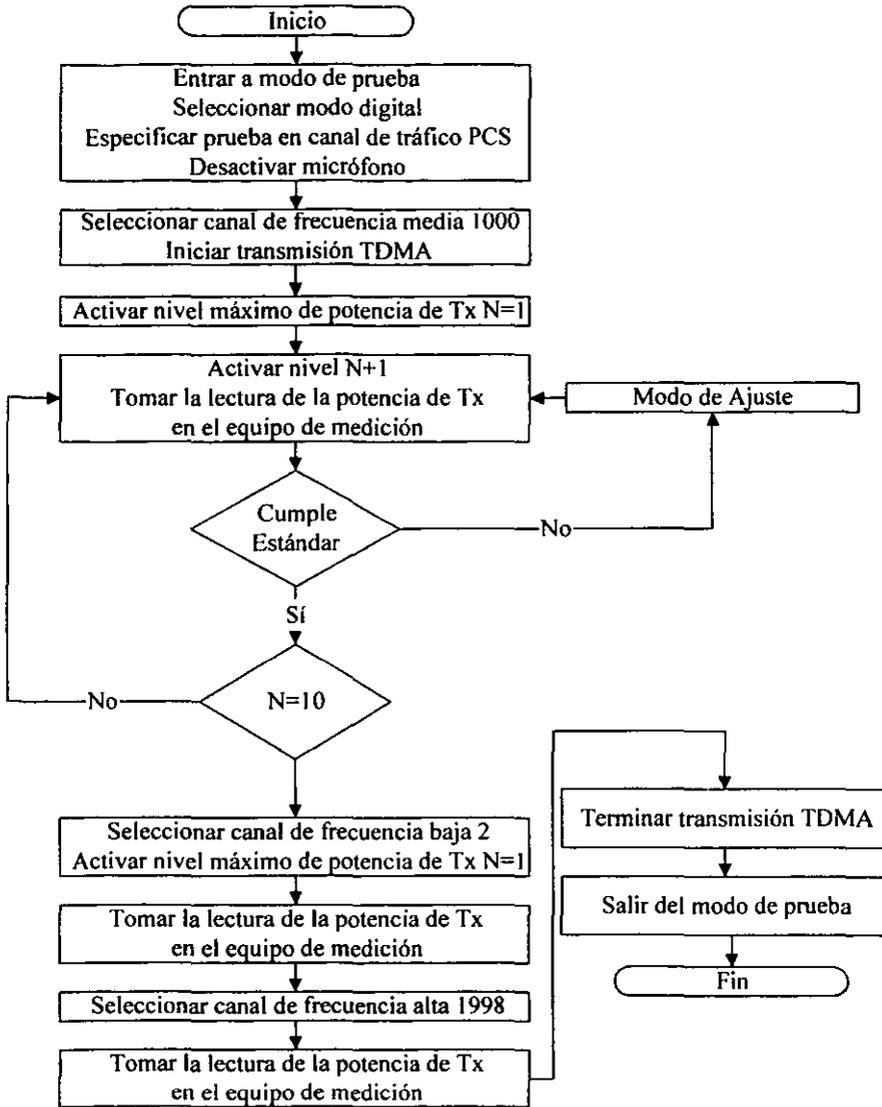


Diagrama 5.11. Medición de potencia de Tx en modo digital, banda PCS.

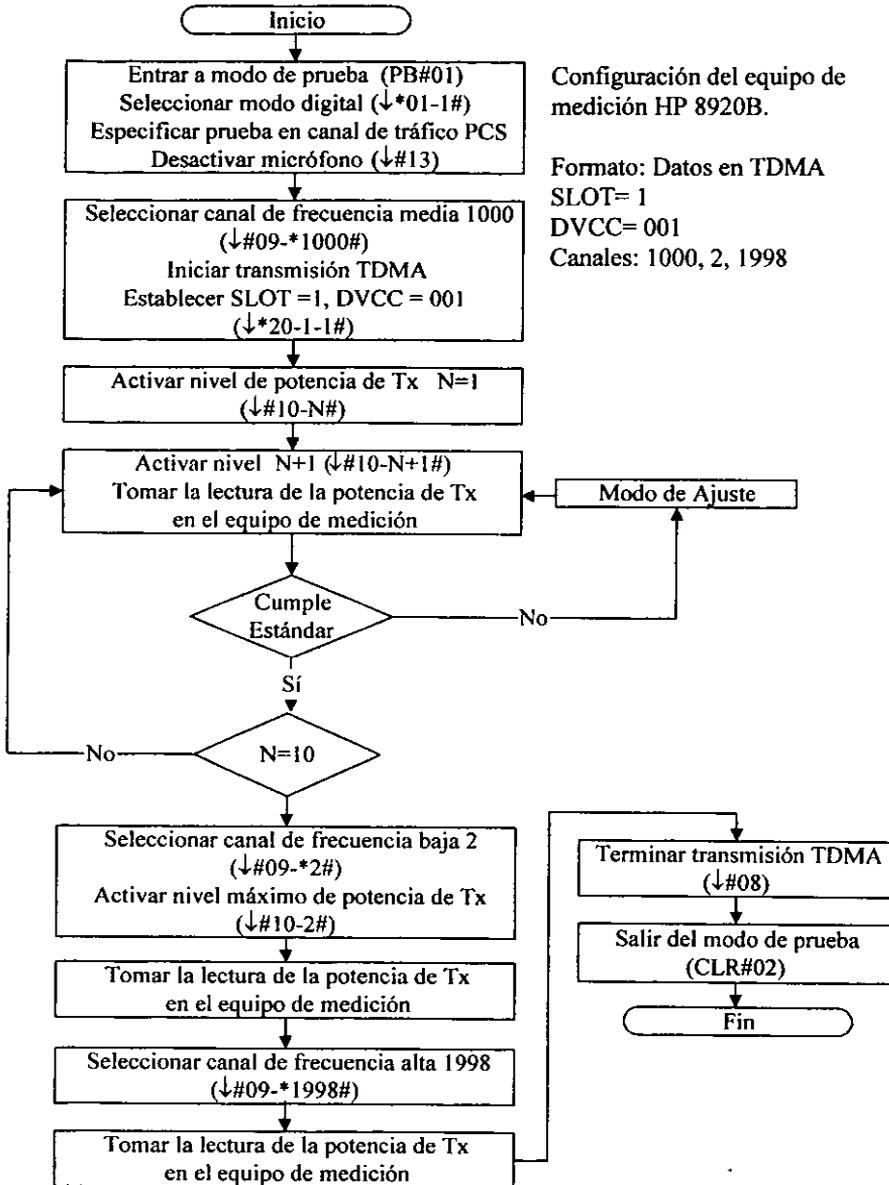


Diagrama 5.12. Medición de potencia de Tx en modo digital, banda PCS. (Aplicación).

Para efectos prácticos, a continuación se muestran 3 niveles de potencia representativos para la aplicación de este procedimiento. Se debe considerar un incremento de 1 dB, según especificaciones del fabricante, debido a la pérdida de potencia que este modelo de teléfono móvil presenta en su circuito TRX, así como un incremento de 0.4 dB causados por los cables de RF.

En las figuras 5.10, 5.11 y 5.12 se muestran las pantallas del equipo de medición para los niveles de potencia 0 (máximo), 5 (medio) y 10 (mínimo) respectivamente, transmitiendo a la frecuencia del canal de tráfico 1000.

En la figura 5.10 se observa que la potencia de transmisión es de 25.72 dBm y considerando las pérdidas tenemos un valor de 27.12 dBm. Por otro lado, en la figura 5.11 se observa que la potencia de transmisión es de 14.90 dBm y considerando las pérdidas tenemos un valor de 16.30 dBm. Finalmente, en la figura 5.12 se observa que la potencia de transmisión es de -9.60 dBm, considerando las pérdidas se tiene -8.20 dBm.

Para determinar si estos niveles de potencia son adecuados, es necesario compararlos con los rangos que indica el estándar para cada uno de los niveles de potencia, como se muestra a continuación:

| | |
|--------------|--|
| Nivel Máximo | $24 \leq \text{potencia permisible} \leq 30$ [dBm] |
| Nivel Medio | $12 \leq \text{potencia permisible} \leq 18$ [dBm] |
| Nivel Mínimo | $-13 \leq \text{potencia permisible} \leq 5$ [dBm] |

De la comparación de los valores anteriores se observa que todas las lecturas obtenidas se encuentran dentro de los rangos que indica el estándar, concluyendo que el teléfono móvil está transmitiendo correctamente para en los niveles de potencia máximo, medio y mínimo.

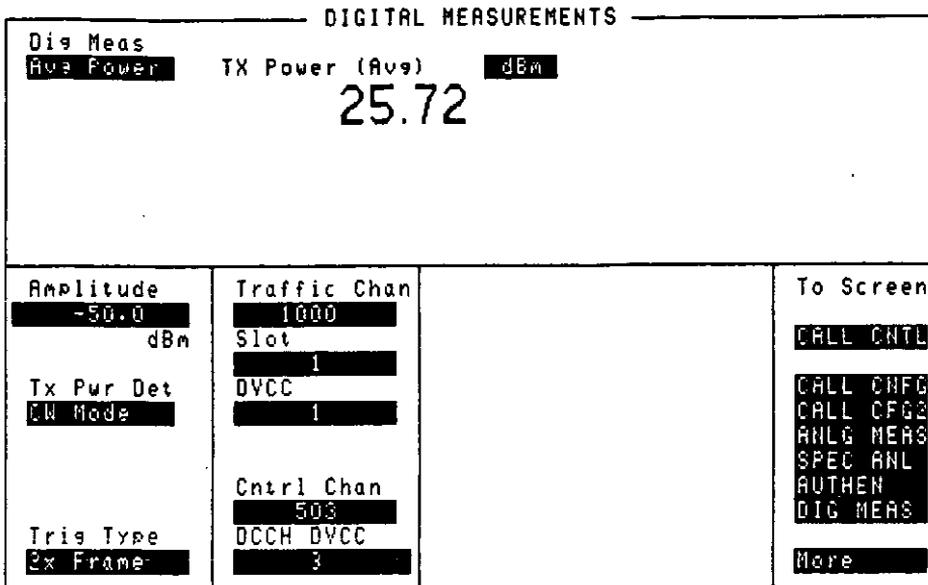


Figura 5.10. Medición de nivel de potencia 0 Tx modo digital, banda PCS. (Resultado).

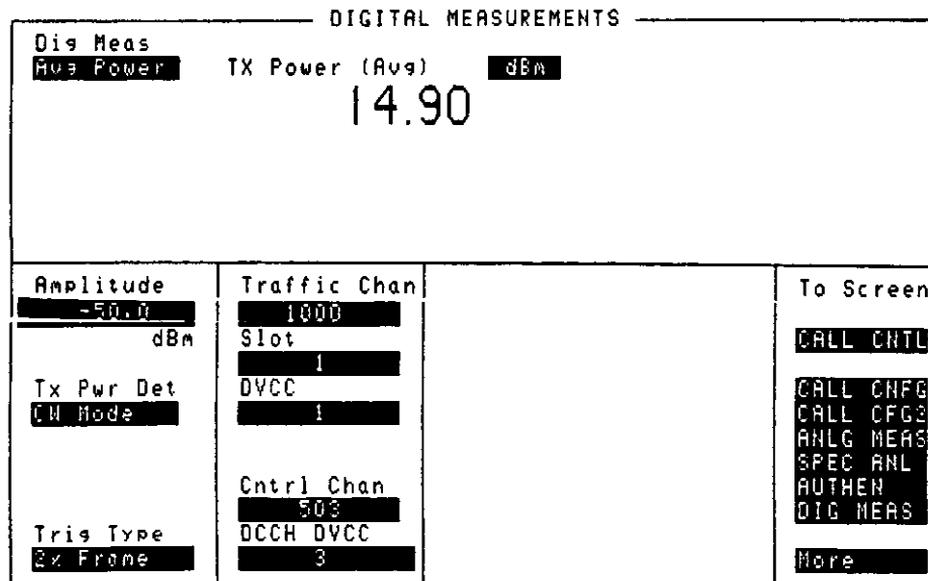


Figura 5.11. Medición de nivel de potencia 5 Tx modo digital, banda PCS. (Resultado).

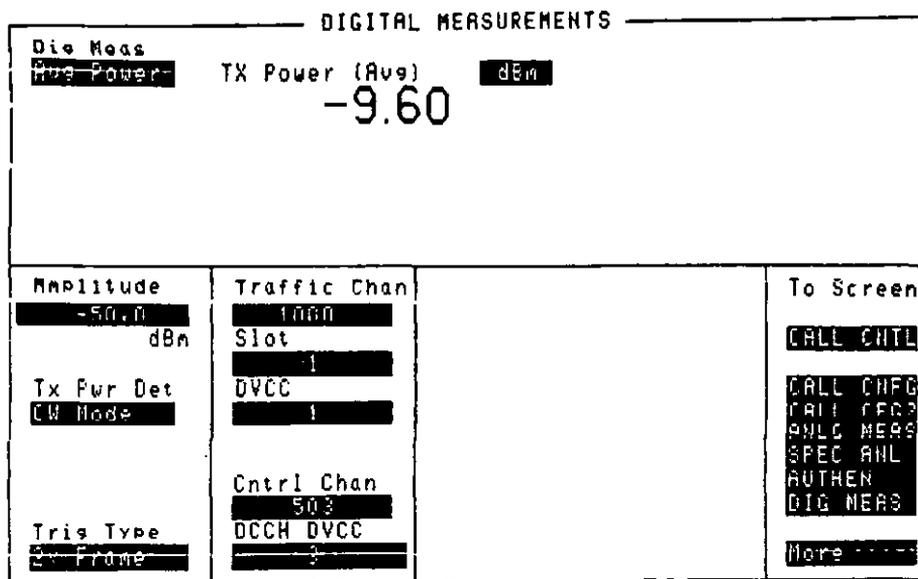


Figura 5.12. Medición de nivel de potencia 10 Tx modo digital, banda PCS. (Resultado).

5.4. DESVIACIÓN MÁXIMA DE FRECUENCIA

La desviación máxima de frecuencia, en el proceso de modulación en FM, nos indica el máximo desplazamiento que sufre la señal portadora modulada a partir de su frecuencia central, y está determinada por la amplitud de la señal moduladora. El diagrama de flujo para esta prueba se muestra en el diagrama 5.13.

El objetivo de determinar la desviación máxima de frecuencia es evitar la interferencia que se pueda causar en los canales adyacentes.

En este procedimiento se selecciona el canal de frecuencia media 383, con un nivel de potencia adecuado para que el transmisor opere a un nivel de potencia medio. Una vez atendiendo estas indicaciones, se enciende el amplificador de potencia y se coloca el conector externo de entrada / salida para habilitar a través de él una señal de audio de 2.8 kHz y con un nivel de 0 dBV, producida por un generador de señales, posteriormente se activa el compandor.

Se toma la lectura de desviación máxima de frecuencia en el equipo de medición y se compara con el estándar para verificar que se encuentre dentro del rango de 9 a 11.3 kHz, en caso contrario entrar al modo de ajuste para corregir el nivel de la señal de AF en el módulo de audio del teléfono móvil.

Una vez verificado que la lectura de desviación máxima de frecuencia se encuentre dentro del rango que indica el estándar, se inhabilita la señal de audio del conector externo de entrada / salida y se apaga el amplificador de potencia.

Aplicación del procedimiento

La aplicación del procedimiento descrito se muestra en el diagrama 5.14, incluyendo los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración necesaria para el equipo de medición HP 8920B para generar la señal de AF y efectuar el análisis de RF correspondiente.

En el ángulo superior derecho de la figura 5.13 podemos observar la lectura de la desviación máxima de frecuencia de 10.85 kHz, con una señal habilitada de AF de 2800 Hz y con un nivel de 0 dBV (1V), transmitiendo a la frecuencia del canal 383. Debido a que el estándar indica el rango de $9 \leq$ desviación máxima de frecuencia ≤ 11.3 [kHz], se concluye que el teléfono móvil se encuentra operando adecuadamente con las condiciones arriba mencionadas para la señal de AF.

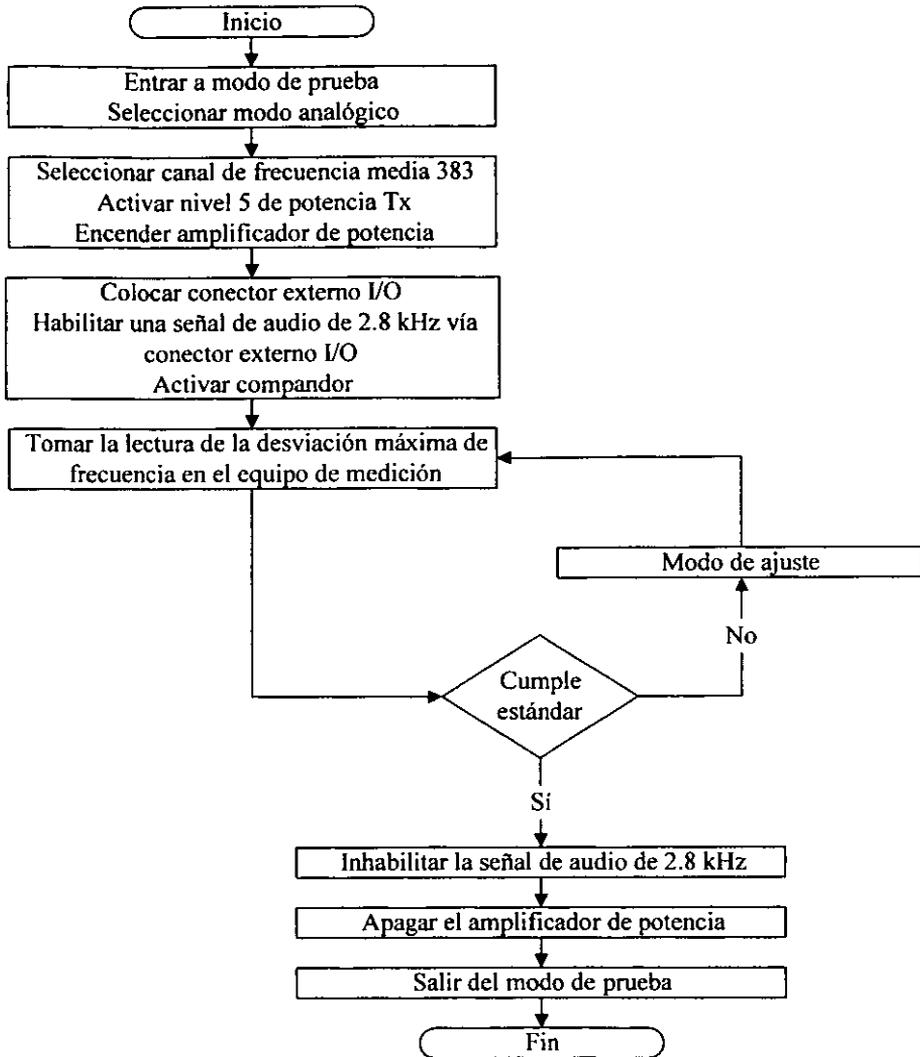


Diagrama 5.13. Medición de la desviación máxima de frecuencia.

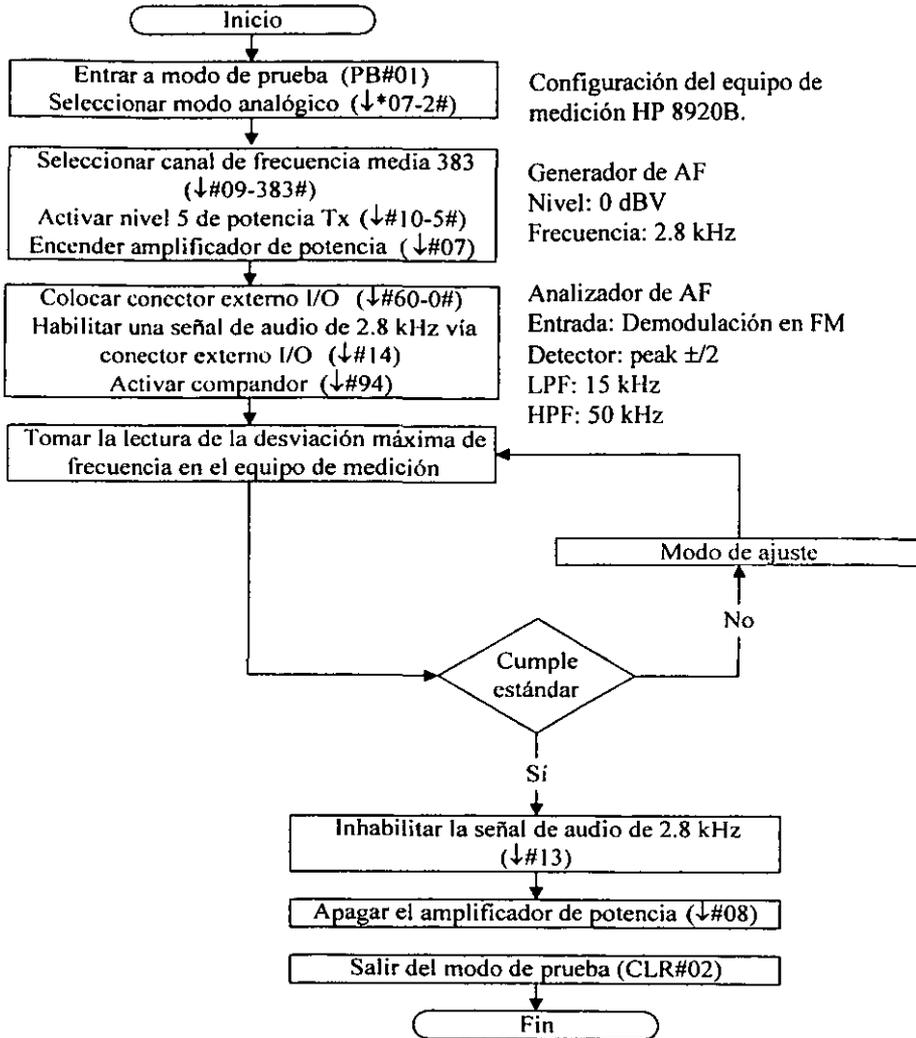


Diagrama 5.14. Medición de la desviación máxima de frecuencia. (Aplicación).

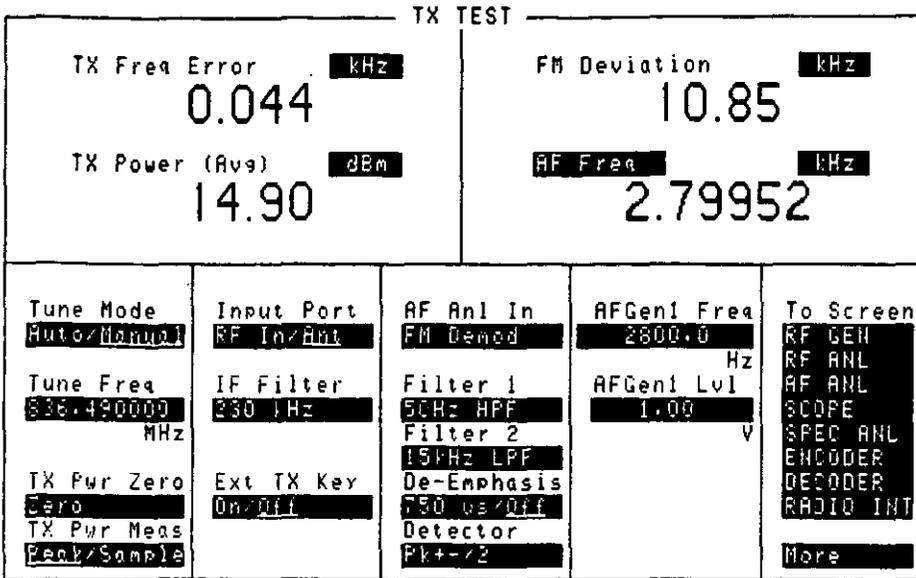


Figura 5.13. Medición de la desviación máxima de frecuencia. (Resultado).

5.5. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE FRECUENCIA

La desviación estándar de frecuencia, en el proceso de modulación en FM, nos indica el desplazamiento de frecuencia que sufre la señal portadora a partir de su frecuencia central. En el diagrama 5.15, se muestra el diagrama de flujo correspondiente a este procedimiento de prueba.

En este procedimiento se selecciona el canal de frecuencia media 383, con un nivel de potencia adecuado para que el transmisor opere a un nivel de potencia medio. Una vez atendiendo estas indicaciones, se enciende el amplificador de potencia para iniciar la transmisión / recepción y se coloca el conector externo de entrada / salida para habilitar a través de él una señal de audio de 1004 Hz con un nivel de -27.8 dBV, producida por un generador de señales, posteriormente es necesario activar el compandor.

Se obtiene la lectura de desviación estándar de frecuencia en el equipo de medición, y se compara con el estándar para verificar que se encuentre dentro del rango de 2.9 ± 0.2 kHz, en caso contrario es necesario entrar al modo de ajuste para adecuar el nivel de la señal de AF en el módulo de audio del teléfono móvil.

Una vez verificado que la lectura obtenida cumpla con el estándar, se inhabilita la señal de audio del conector externo de entrada / salida y se apaga el amplificador de potencia, para posteriormente salir del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

Para ejemplificar el procedimiento de desviación estándar de frecuencia se utilizan los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, así como las configuraciones requeridas por el equipo de medición HP 8920B, como se muestra en el diagrama 5.16. El equipo de medición HP 8920B sirve para generar la señal de audio, además de recibir y demodular la señal transmitida por el teléfono móvil.

En el ángulo superior derecho de la figura 5.14 podemos observar la lectura de la desviación estándar de frecuencia de 2.808 kHz, con una señal habilitada de AF de 1004 Hz y con un nivel de -27.8 dBV (92.2 dB μ V), transmitiendo a la frecuencia del canal 383. Debido a que el estándar indica el rango de $2.7 \leq$ desviación estándar de frecuencia ≤ 3.1 [kHz], se concluye que el teléfono móvil se encuentra operando adecuadamente bajo las condiciones arriba mencionadas para la señal de AF.

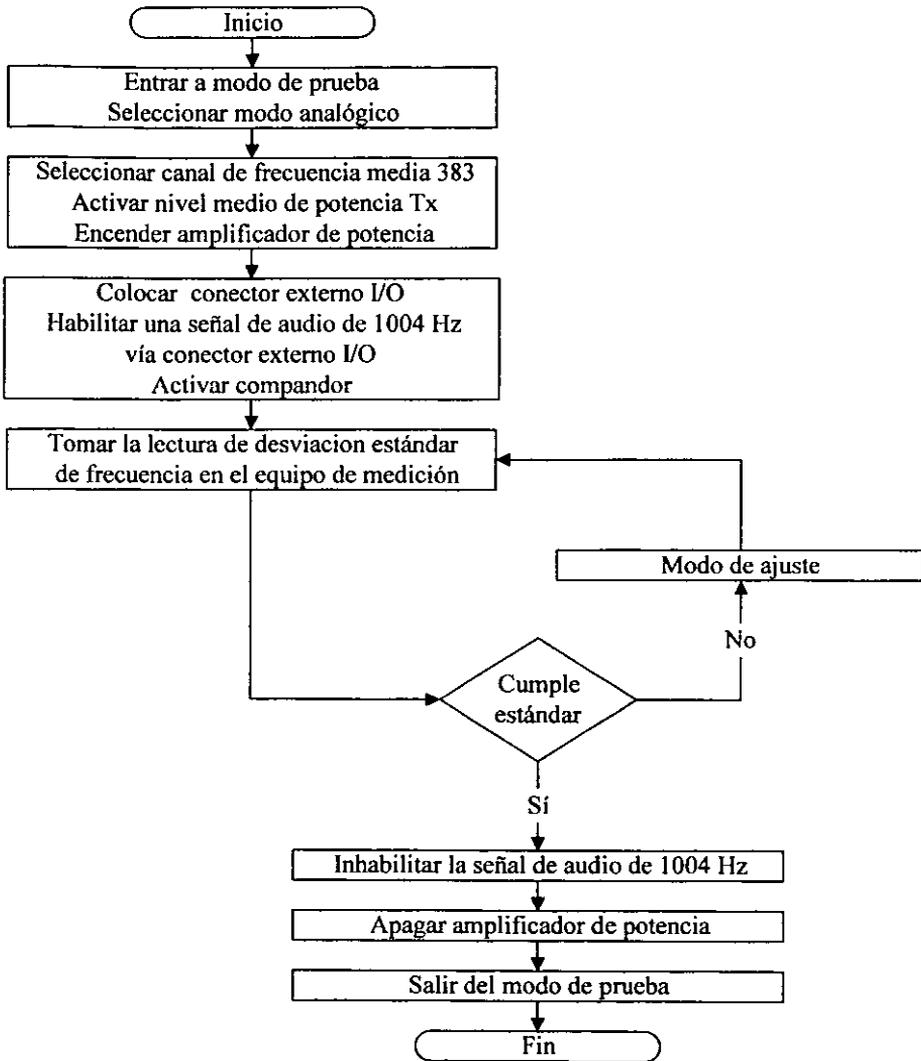


Diagrama 5.15. Medición de desviación estándar de frecuencia.

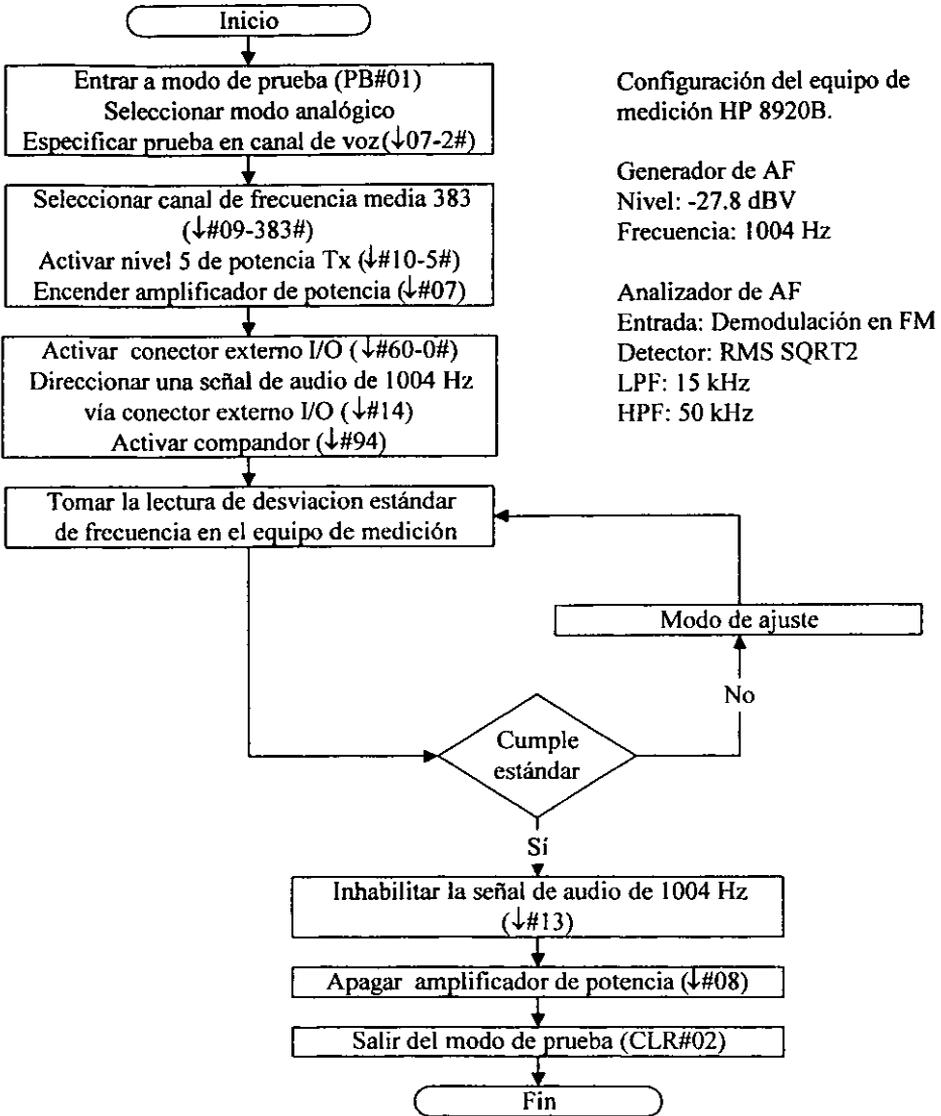


Diagrama 5.16. Medición de desviación estándar de frecuencia. (Aplicación).

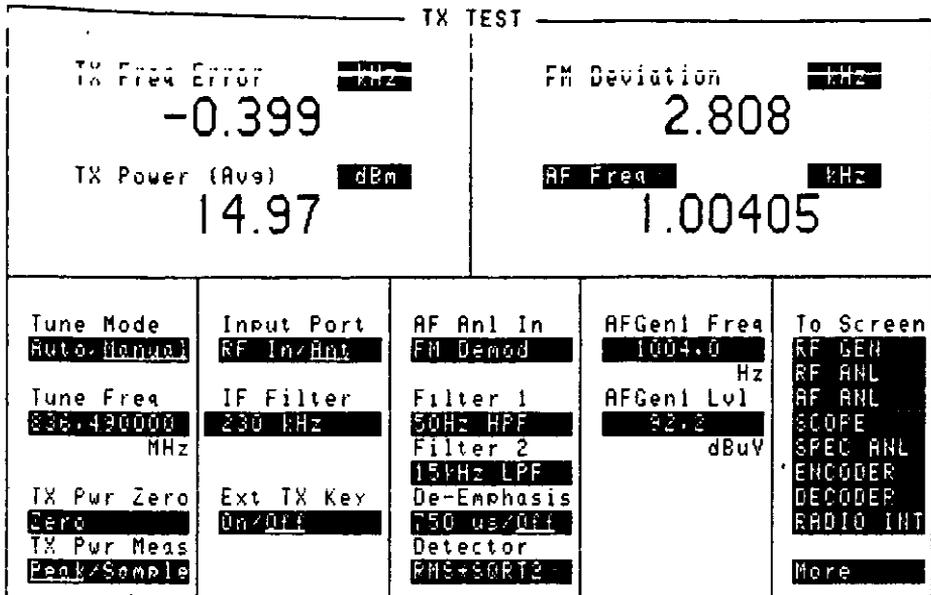


Figura 5.14. Medición de desviación estándar de frecuencia. (Resultado).

5.6. FRECUENCIA DEL ST Y DESVIACIÓN CAUSADA POR EL ST

La medición de la frecuencia del tono de señalización (ST) de 10 kHz nos indica la variación de ésta cuando el ST es transmitido por el teléfono móvil. Por otro lado, la desviación causada por el tono de señalización nos indica el desplazamiento que este tono produce en la frecuencia de la señal portadora. El diagrama de flujo para estas mediciones se encuentra en el diagrama 5.17.

Para obtener ambas mediciones del ST, primero es necesario desactivar el micrófono del teléfono móvil para evitar la presencia de cualquier señal externa; se selecciona el canal de frecuencia media 383 y con un nivel de potencia adecuado para que el transmisor opere a un nivel de potencia medio, iniciándose la transmisión / recepción junto con la activación del ST.

Se obtiene la lectura de la frecuencia del tono de señalización en el equipo de medición y se comprueba que se encuentre en el rango que indica el estándar de 10 ± 0.001 kHz, en caso contrario es necesario entrar al modo de ajuste para corregir la señal de reloj del generador de tonos ST, ubicado en el BEC. De igual forma, se obtiene la lectura de la desviación causada por el tono de señalización y se determina si se encuentra dentro del rango de 8 ± 0.8 kHz, en caso contrario se debe entrar al modo de ajuste y modificar el nivel del tono ST generado.

Antes de salir del modo de prueba se desactiva el tono de señalización y se apaga el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

Para ejemplificar el procedimiento descrito, en el diagrama 5.18 se presenta el procedimiento con los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, así como las configuraciones requeridas por el equipo de medición HP 8920B. El equipo de medición HP 8920B sirve para realizar el análisis de AF.

En el ángulo superior derecho de la figura 5.15 podemos observar la lectura de la desviación de frecuencia causada por el tono de señalización de 8.346 kHz, así como la frecuencia del ST de 10.0001 kHz, transmitiendo a la frecuencia del canal 383. Ya que el estándar indica los rangos de:

$$7.2 \leq \text{desviación de frecuencia ST} \leq 8.8 \text{ [kHz]} \quad \text{y} \quad 9999 \leq \text{frecuencia ST} \leq 10001 \text{ [Hz]}$$

Se concluye que el teléfono móvil produce una desviación de frecuencia debida al ST dentro del estándar y que la frecuencia de este tono es la adecuada.

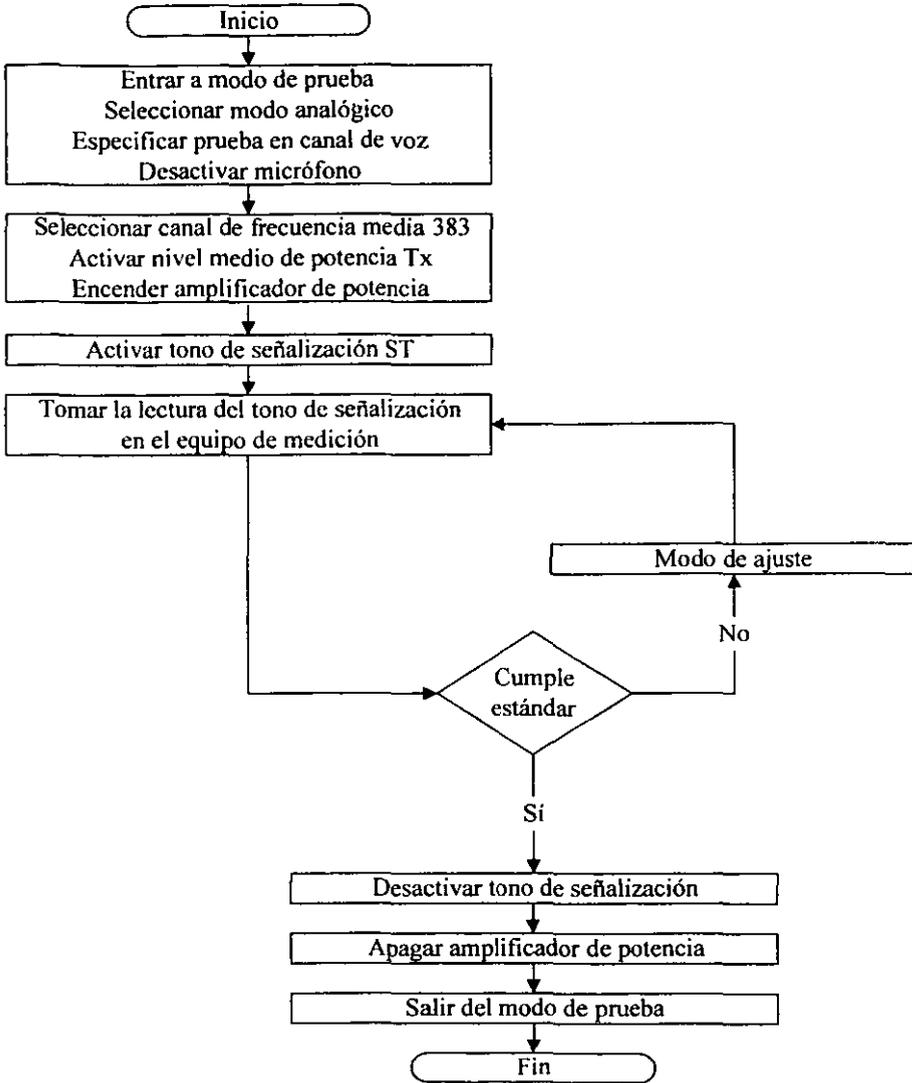


Diagrama 5.17. Medición de la frecuencia y desviación del ST.

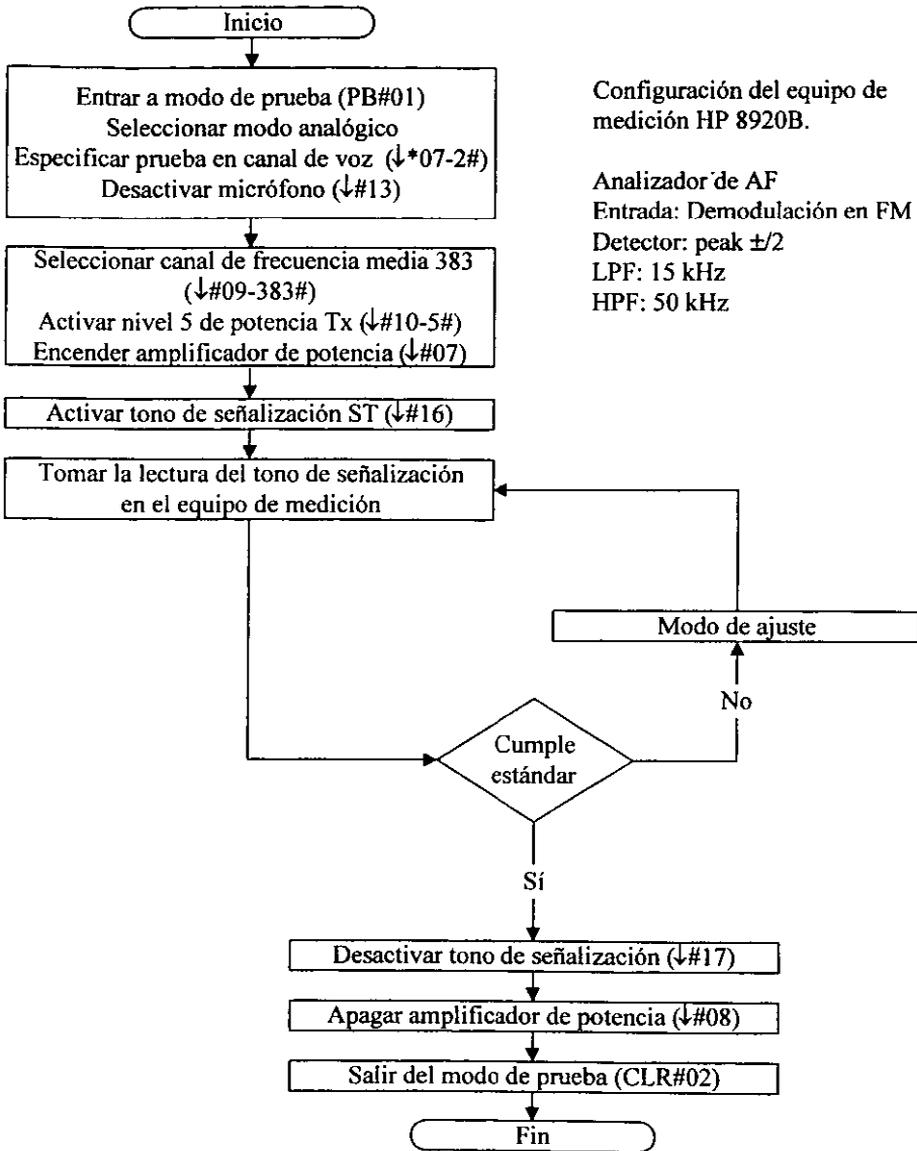


Diagrama 5.18. Medición de la frecuencia y desviación del ST. (Aplicación).

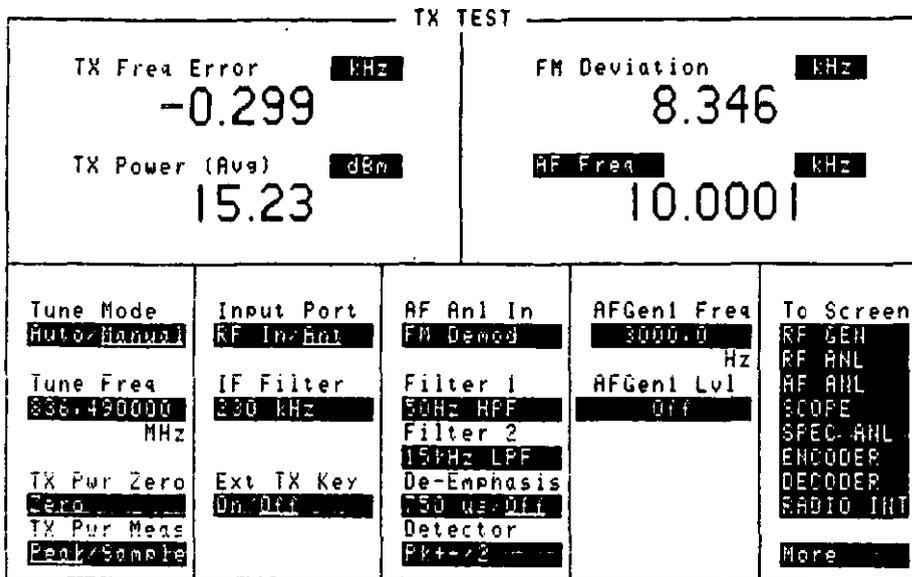


Figura 5.15. Medición de la frecuencia y desviación del ST. (Resultado).

5.7. FRECUENCIA DEL SAT Y DESVIACIÓN CAUSADA POR EL SAT

La medición de la frecuencia del tono supervisor de audio (SAT), nos indica el desplazamiento de la frecuencia del tono correspondiente al SAT, generado cuando éste es transmitido por el teléfono móvil. El diagrama 5.19 muestra el procedimiento de prueba para estas mediciones. Cabe mencionar que un tono del SAT puede tener tres valores de frecuencia: 5970, 6000 ó 6030 Hz.

La desviación causada por el SAT nos indica el desplazamiento que este tono produce en la frecuencia de la señal portadora.

Para obtener la medición de la frecuencia del SAT, primero es necesario desactivar el micrófono del teléfono móvil para evitar la presencia de cualquier señal externa; se selecciona el canal de frecuencia media 383 y con un nivel de potencia adecuado para que el transmisor opere a un nivel de potencia medio, iniciándose la transmisión / recepción junto con la activación de un tono del SAT.

Se toma la lectura de la frecuencia del SAT en el equipo de medición y se verifica que se encuentre en los rangos que indica el estándar de ± 20 Hz, en caso contrario es necesario entrar al modo de ajuste para modificar la señal de reloj del generador de tonos SAT. De igual forma, se obtiene la lectura de la desviación causada por el SAT y se determina si se encuentra dentro del rango de 2 ± 0.2 kHz, en caso contrario entrar al modo de ajuste para adecuar al estándar el nivel del tono SAT generado.

Una vez realizadas las lecturas, se desactiva el tono de señalización y se apaga el amplificador de potencia para posteriormente salir del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.20 se muestra la aplicación del procedimiento descrito, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para realizar el análisis de AF correspondiente.

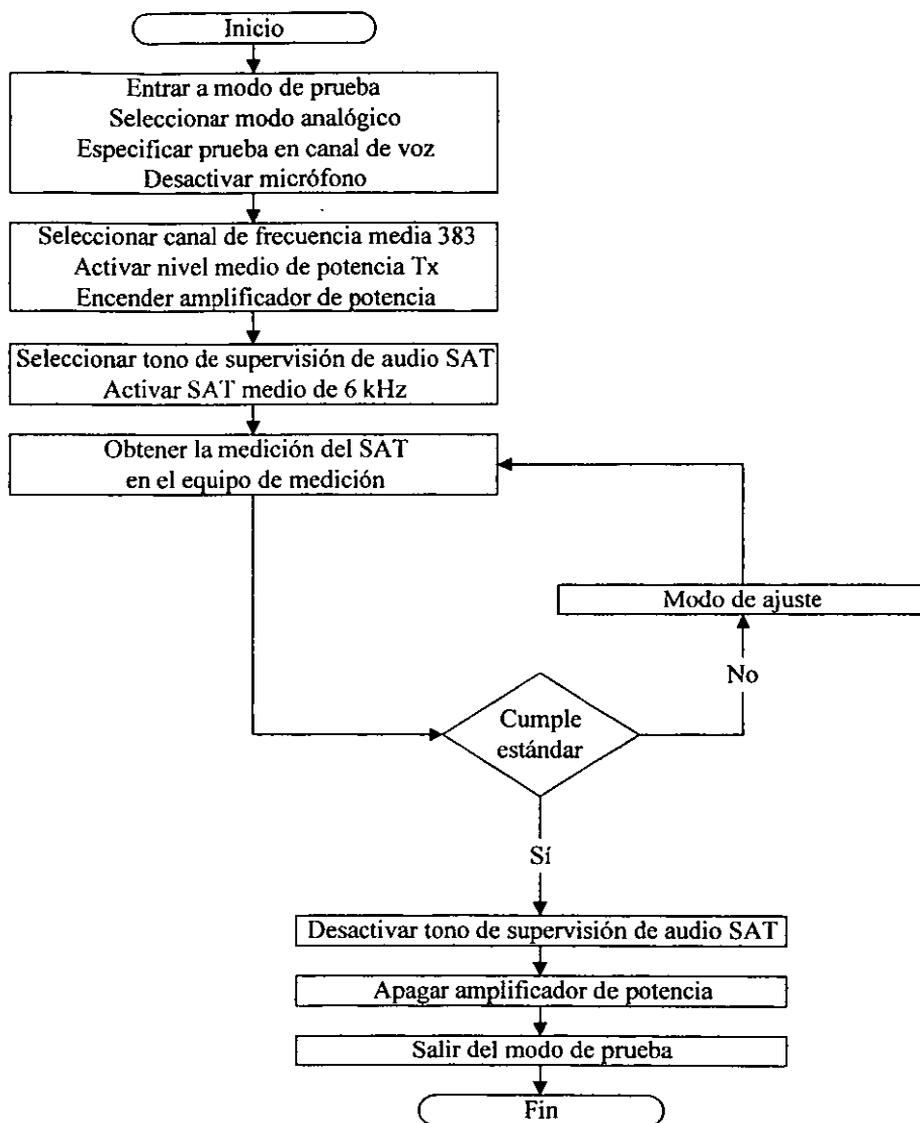


Diagrama 5.19. Medición de la frecuencia y desviación del SAT.

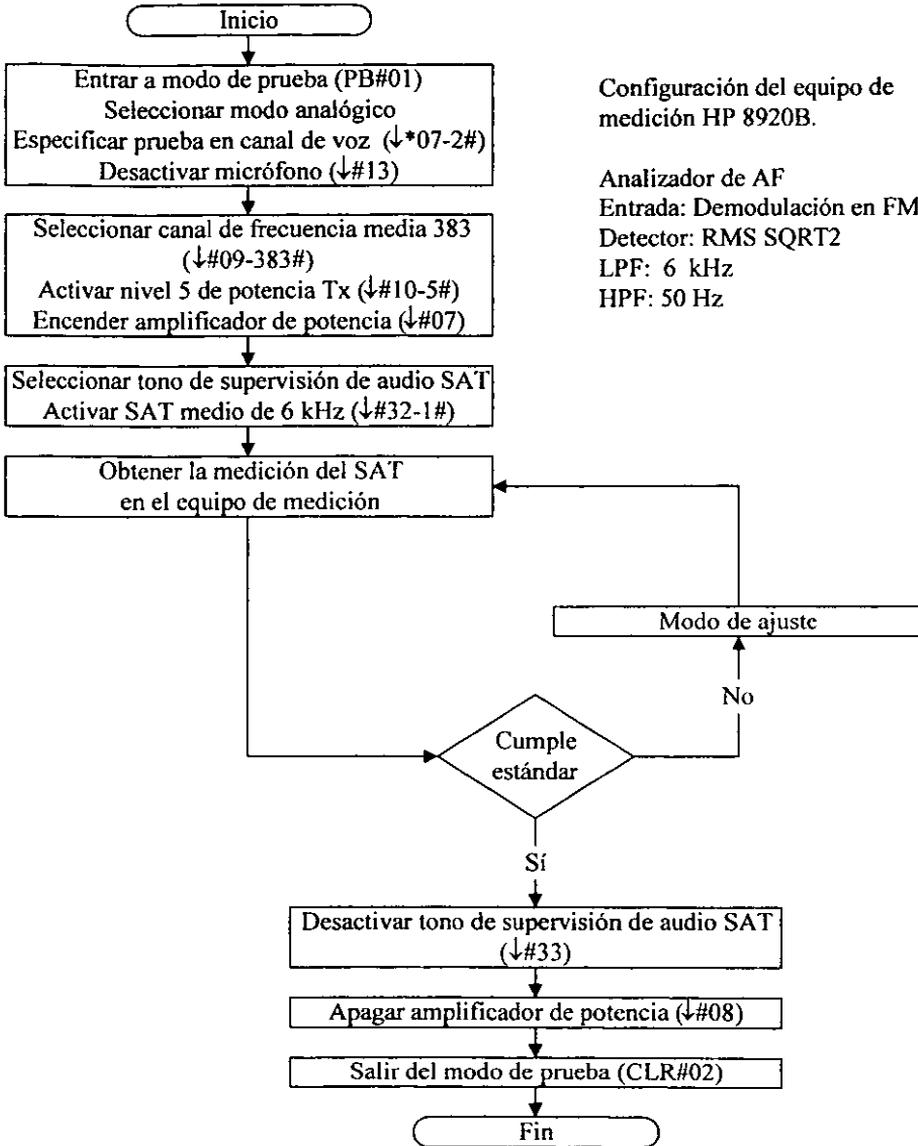


Diagrama 5.20. Medición de la frecuencia y desviación del SAT. (Aplicación).

En esta aplicación, para efectos prácticos se está considerando el SAT medio con una frecuencia de 6000 Hz. En la figura 5.16 podemos observar la lectura de la desviación de frecuencia causada por el SAT de 2.026 kHz, así como su frecuencia de 6.00009 kHz, transmitiendo a la frecuencia del canal 383. El estándar para la desviación causada por el SAT indica que:

$$1.8 \leq \text{desviación de frecuencia SAT} \leq 2.2 \text{ [kHz]}$$

De lo anterior se puede concluir que la desviación de frecuencia causada por el SAT de este teléfono móvil se encuentra dentro del rango que marca el estándar.

De igual forma, el rango de frecuencia del SAT debe estar ± 20 Hz de la frecuencia asignada a cada nivel de SAT. Para este caso, la frecuencia del SAT medio debe ser:

$$5980 \leq \text{frecuencia SAT} \leq 6020 \text{ [Hz]}$$

De lo anterior se concluye que el teléfono móvil está transmitiendo a la frecuencia correcta del SAT medio.

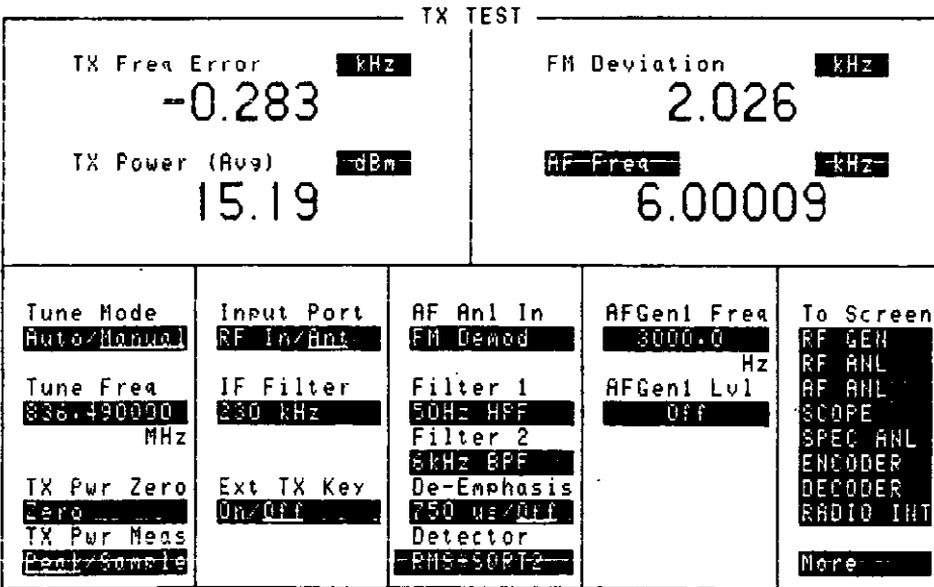


Figura 5.16. Medición de la frecuencia y desviación del SAT. (Resultado).

5.8. DESVIACIÓN CAUSADA POR LOS TONOS DTMF

La desviación causada por los tonos duales multifrecuenciales (DTMF) nos indica el desplazamiento que estos tonos producen en la frecuencia de la señal portadora. El procedimiento para esta prueba se muestra en el diagrama 5.21.

Para obtener la medición de la desviación causada por los DTMF, primero se selecciona el canal de frecuencia media 383 y un nivel de potencia adecuado, para que el transmisor opere a un nivel de potencia medio, y se inicia la transmisión /recepción encendiendo el amplificador de potencia. Es necesario colocar el conector externo de entrada / salida sin señal de entrada y activar el compandor, posteriormente activar los tonos DTMF y seleccionar el tono “#” para obtener la lectura de la desviación de frecuencia causada por este tono. Se verifica que la lectura obtenida se encuentre dentro del rango que indica el estándar de 9.6 ± 0.6 kHz, sino es así, entrar al modo de ajuste para corregir el nivel del generador de tonos DTMF, ubicado en el IFC.

Una vez realizada la lectura, se desactivan los tonos DTMF y se termina la transmisión / recepción apagando el amplificador de potencia y posteriormente salir del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

La aplicación del procedimiento se muestra en el diagrama 5.22, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para realizar el análisis de AF correspondiente.

En la figura 5.17 se observa la lectura de la desviación de frecuencia causada por el DTMF “#” de 6.974 kHz, transmitiendo en el canal de frecuencia media 383. El estándar indica que la desviación de frecuencia causada por los tonos DTMF debe ser de:

$$9 \leq \text{desviación de frecuencia DTMF} \leq 10.2 \text{ [kHz]}$$

Se puede observar que la lectura obtenida se encuentra fuera del rango arriba mencionado, por lo que es necesario entrar al modo de ajuste para corregir el nivel de la señal de salida del generador de tonos DTMF. El ajuste se logró mediante el comando específico para el teléfono móvil modelo NEX 2600 (VOL#01, \uparrow ó \downarrow), hasta obtener un nivel dentro del rango que marca el estándar, como se puede observar en la figura 5.18.

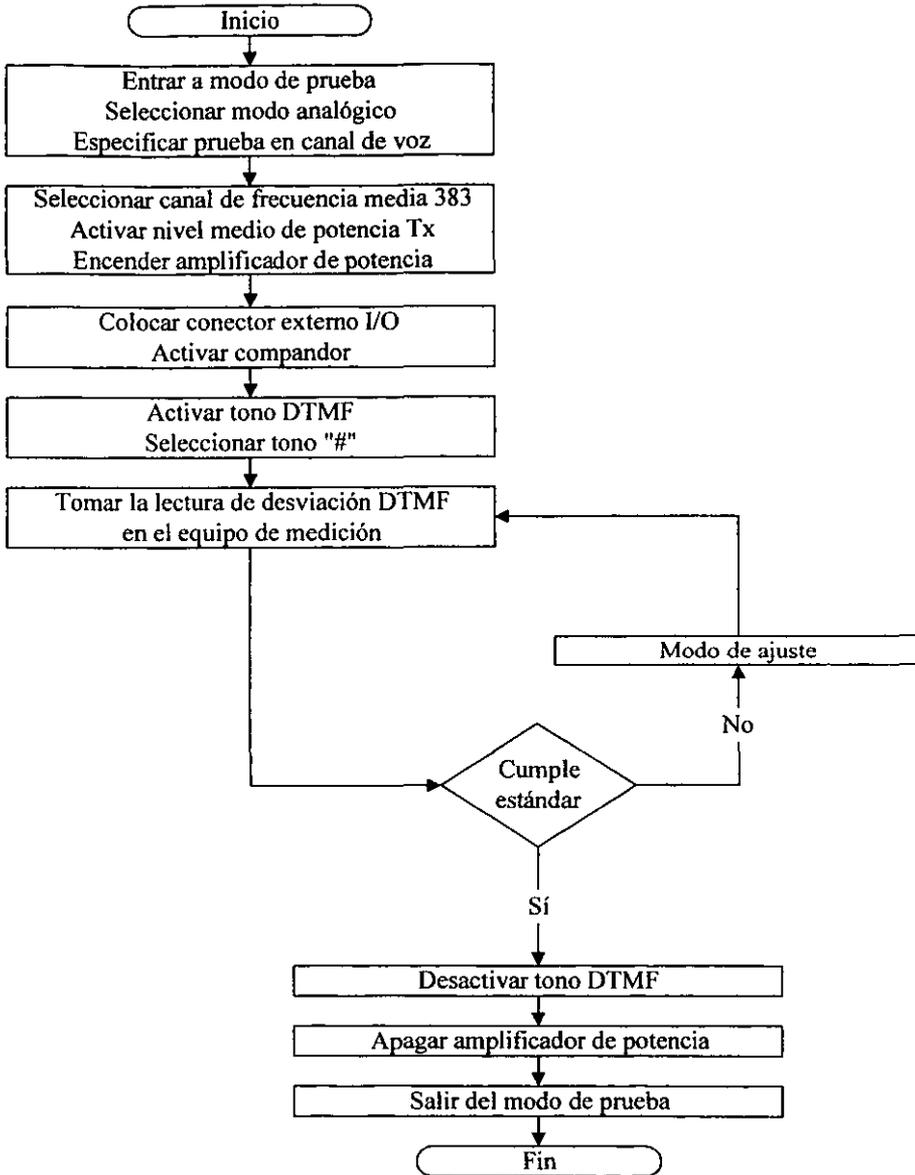


Diagrama 5.21. Medición de la desviación de los tonos DTMF.

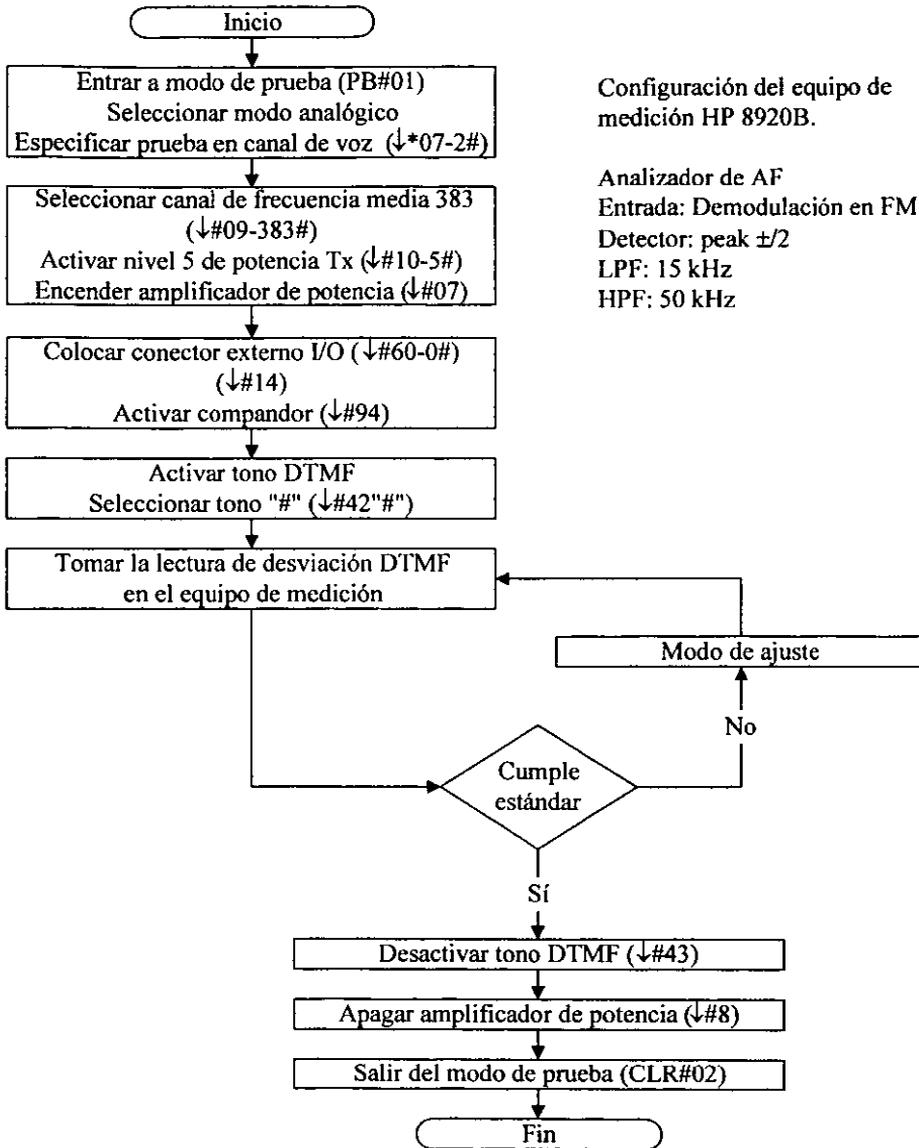


Diagrama 5.22. Medición de la desviación de los tonos DTMF. (Aplicación).

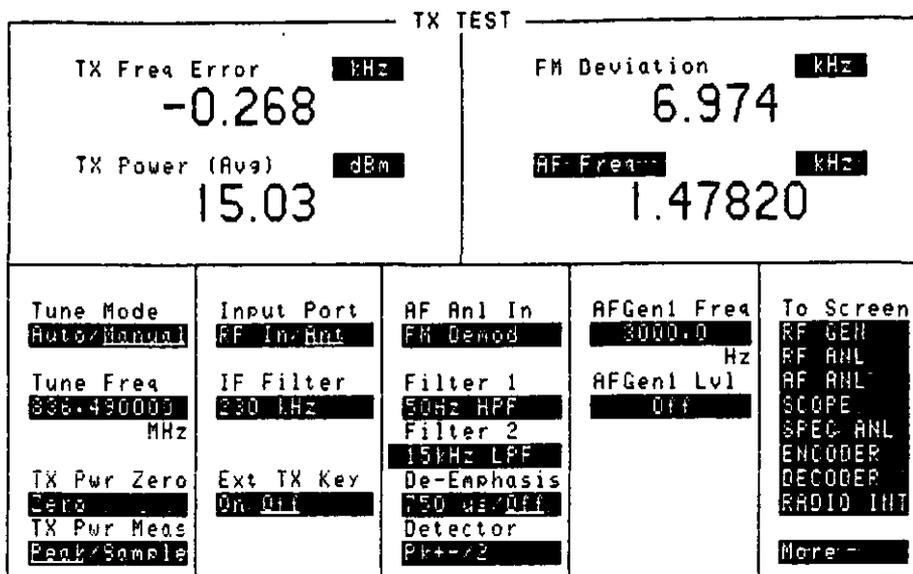


Figura 5.17. Medición de la desviación de los tonos DTMF. Resultado con error.

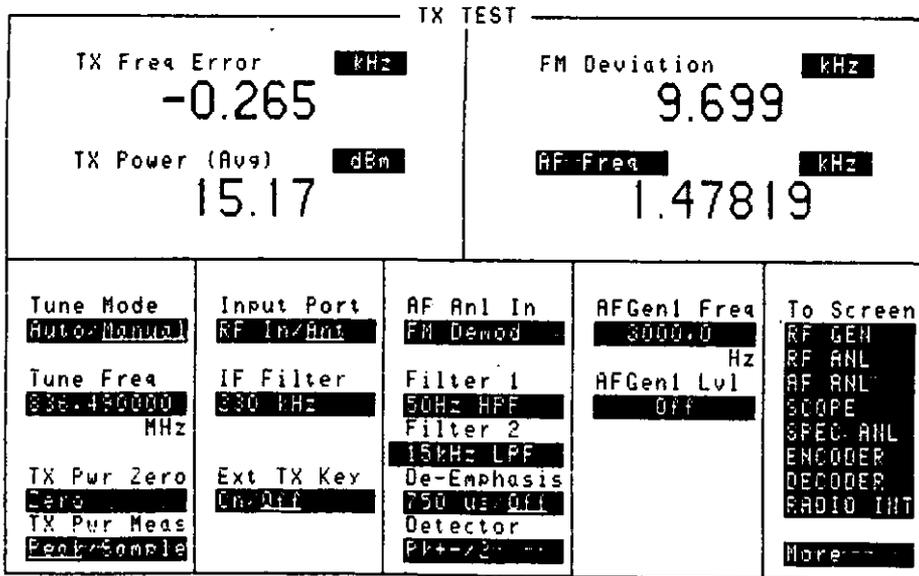


Figura 5.18. Medición de la desviación de los tonos DTMF. Resultado con ajuste.

5.9. RESPUESTA A LA SEÑAL DE AUDIO FRECUENCIA Tx

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.23. Con dicho procedimiento se obtiene la respuesta del transmisor del teléfono móvil a las variaciones de la señal de audio frecuencia.

Para iniciar la medición, se selecciona el canal de frecuencia media 383 y el nivel adecuado para que el transmisor opere a un nivel de potencia medio, posteriormente se enciende el amplificador de potencia para iniciar la transmisión / recepción, se coloca el conector externo de entrada / salida, se habilita una señal de audio de 1004 Hz con un nivel de -27.8 dBV proveniente de un generador de señales y se desactiva el compandor. Se toma la lectura del nivel de la frecuencia de audio resultado de la demodulación en el equipo de medición y se referencia su nivel a 0 dB.

Se cambia la frecuencia de la señal de audio de entrada a 3 kHz, se toma la lectura y se hace la diferencia de nivel, considerando la referencia de 0 dB. Se verifica que esta diferencia se encuentre dentro del rango que marca el estándar de 8.5 dB $+2.5$ dB / -3.5 dB; en caso de no cumplir con este estándar, se debe de entrar al modo de ajuste para aumentar o disminuir la ganancia de la señal de audio del teléfono móvil, teniendo en cuenta que este ajuste puede afectar el resultado de alguna otra prueba donde se involucre este nivel. Para terminar la transmisión / recepción se apaga el amplificador de potencia y se sale del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.24 se muestra la aplicación de este procedimiento, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración requerida en el equipo de medición HP 8920B para generar la señal de AF y para realizar el análisis correspondiente.

En la figura 5.19 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado de la primera parte del procedimiento, en el que se observa una desviación de frecuencia de 2.818 kHz al aplicar una AF de 1004 Hz a -27.8 dBV ($92.2\text{dB}\mu\text{V}$). En la figura 5.20 se muestra el resultado de la segunda parte del procedimiento, en el que se obtiene una lectura de desviación de frecuencia de 6.351 kHz al aplicar una AF de 3000 Hz a -27.8 dBV ($92.2\text{dB}\mu\text{V}$). Para obtener la ganancia entre estos dos niveles de señal podemos aplicar la siguiente relación:

$$\text{Respuesta a la AF} = 20 \log 6.351 - 20 \log 2.818 = 7.272 \text{ dB}$$

Este resultado está comprendido dentro del rango de 8.5 dB $+2.5$ dB / -3.5 dB indicado por el estándar.

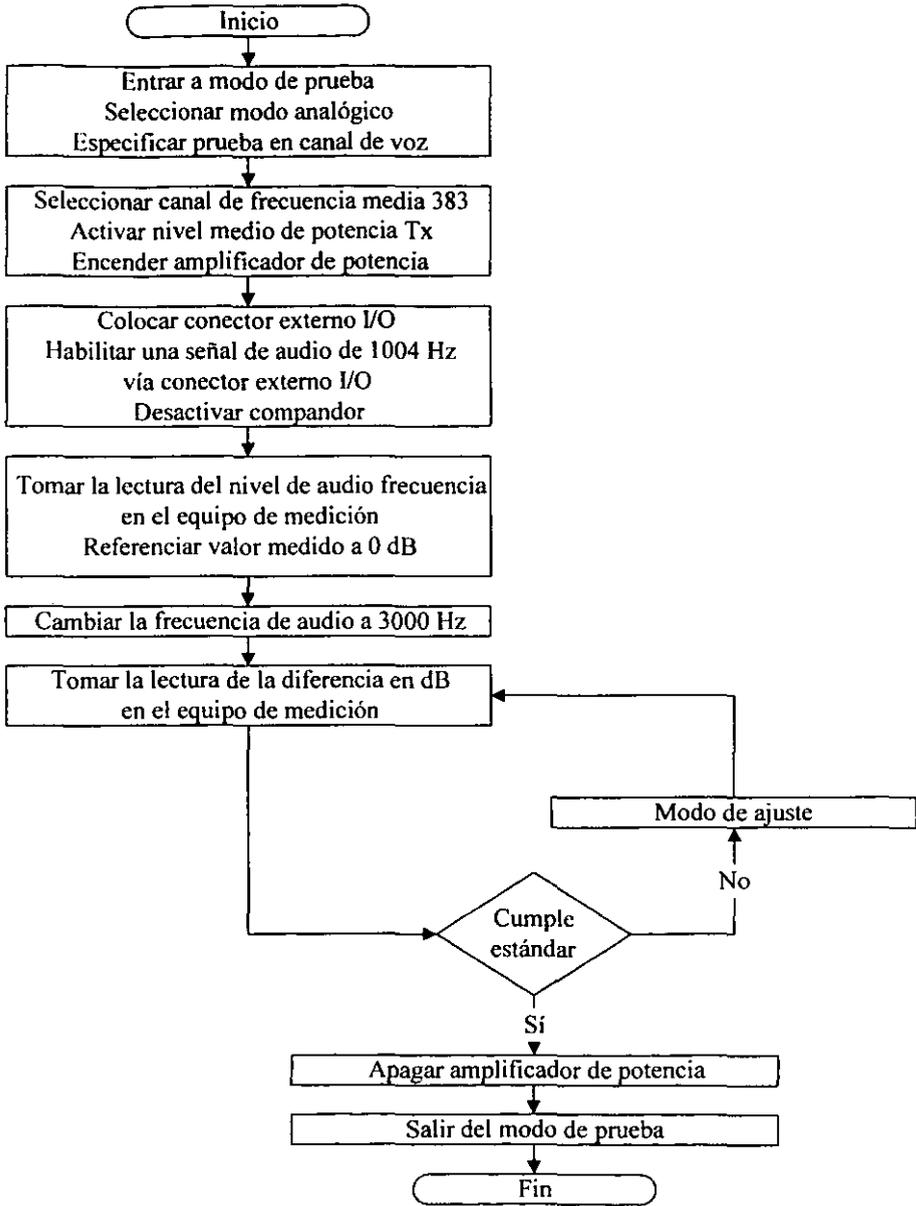


Diagrama 5.23. Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx.

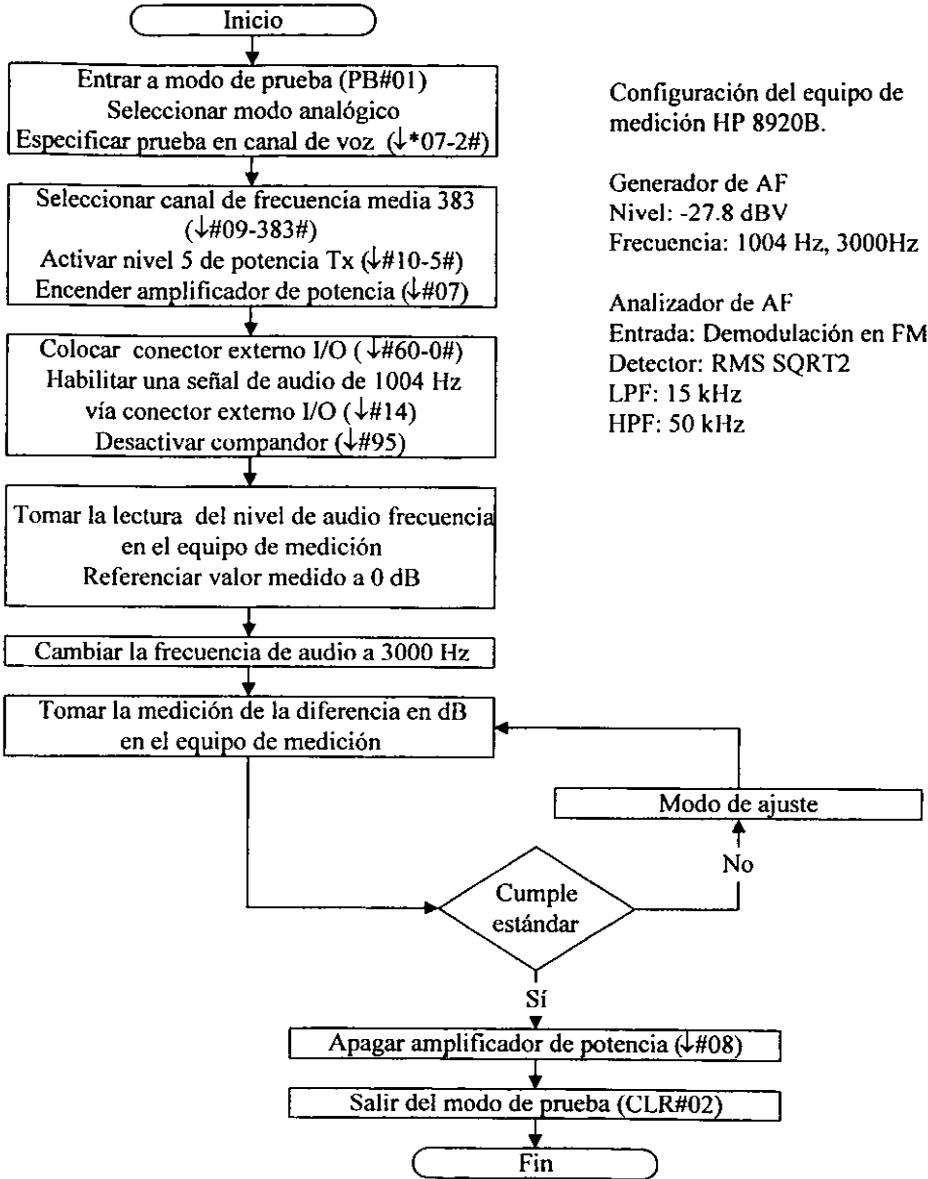


Diagrama 5.24. Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx. (Aplicación).

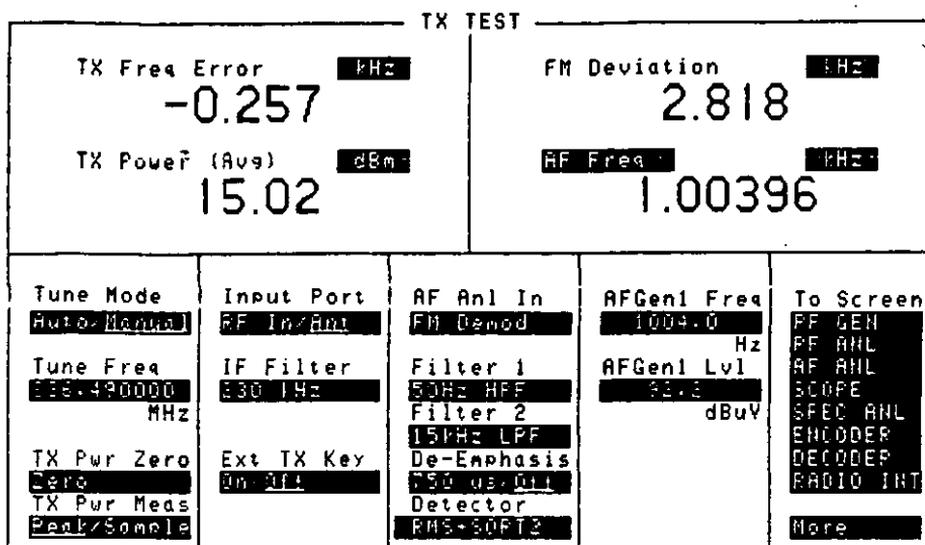


Figura 5.19. Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx. Resultado a 1004 Hz, -27.8 dBV.

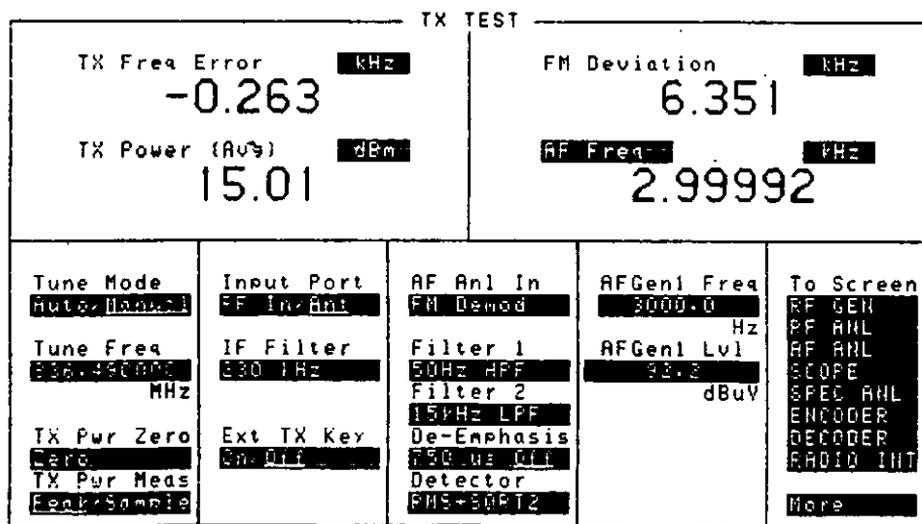


Figura 5.20. Medición de la respuesta a la señal de AF en Tx. Resultado a 3000 Hz, -27.8 dBV.

5.10. DISTORSIÓN DE LA SEÑAL DE AUDIO TRANSMITIDA

En esta prueba se determinará el nivel de distorsión de una señal de audio transmitida por el teléfono móvil; el diagrama de flujo correspondiente a este procedimiento de prueba, se muestra en el diagrama 5.25.

Para realizar la medición de la distorsión de la señal de audio producto de la modulación, primero se selecciona el canal de frecuencia media 383 con un nivel de potencia adecuado para que el transmisor opere a un nivel de potencia medio y se inicia la transmisión / recepción encendiendo el amplificador de potencia. Es necesario colocar el conector externo de entrada / salida y habilitar una señal de audio de 1004 Hz a -10.1 dBV, posteriormente se activa el compandor. Se toma la medición de la distorsión en el equipo de medición, la cual debe ser menor de -26 dB como lo marca el estándar, si el resultado no es el esperado se procederá a ajustar al equipo. El ajuste se realiza variando la ganancia de la señal de audio del teléfono móvil, considerando que esta variación puede afectar los parámetros relacionados con esta señal de audio.

Una vez realizada la medición, se apaga el amplificador de potencia para terminar la transmisión / recepción y salir del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.26 se muestra la aplicación del procedimiento arriba mencionado, incluyendo los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para generar la señal de AF y su análisis.

En la figura 5.21 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado de del procedimiento, en el que se observa una distorsión de -44.5 dB causada por la señal de AF a 1004 Hz con un nivel de -10.1 dBV (109.9 dB μ V).

Esta distorsión es menor a los -26 dB, por lo que se concluye que el teléfono móvil cumple con las especificaciones marcadas por el estándar.

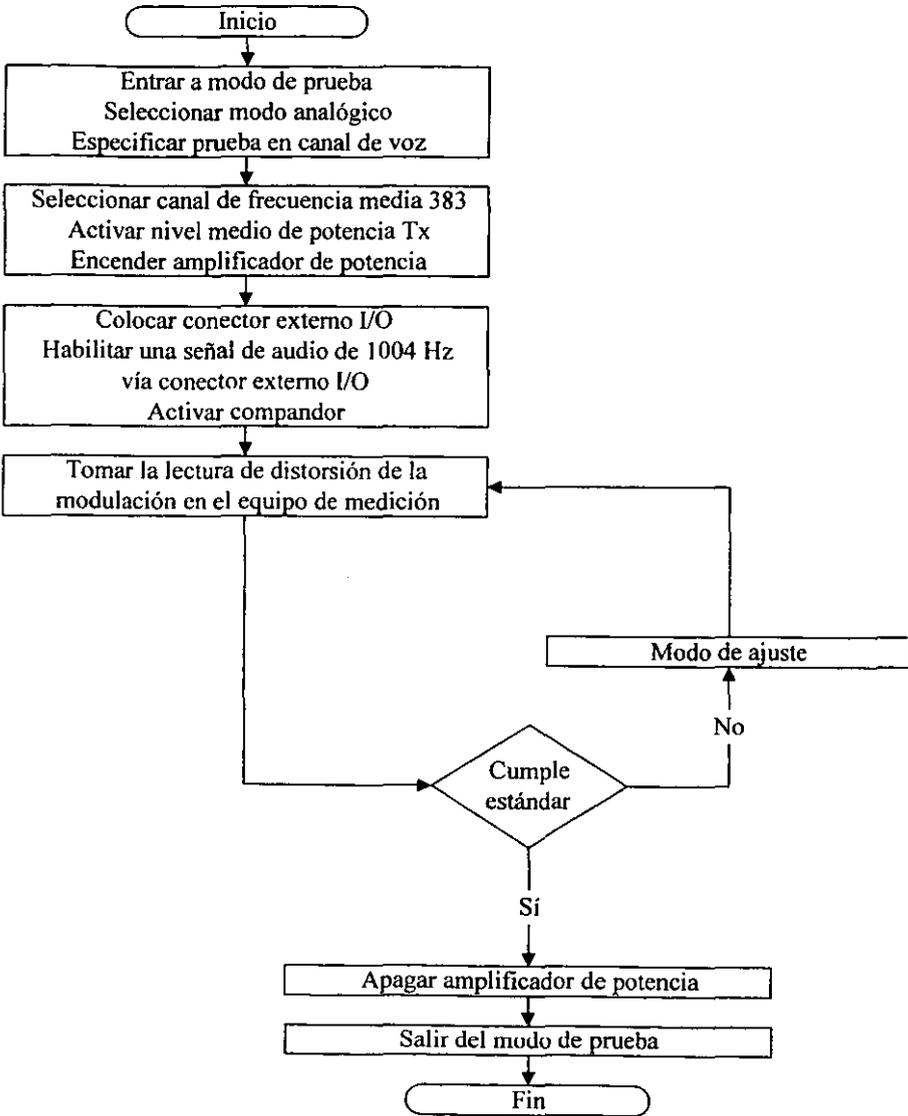


Diagrama 5.25. Medición de la distorsión de la señal de AF transmitida.

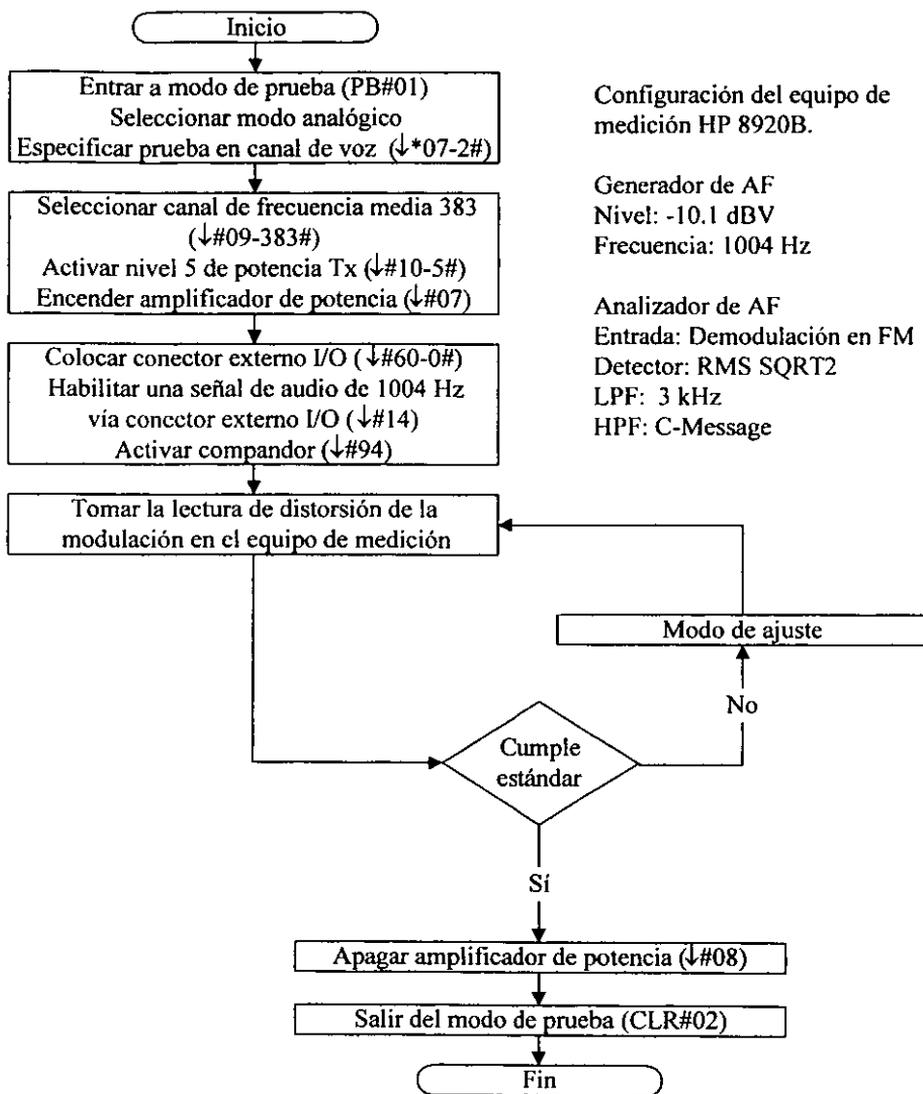


Diagrama 5.26. Medición de la distorsión de la señal de AF transmitida. (Aplicación).

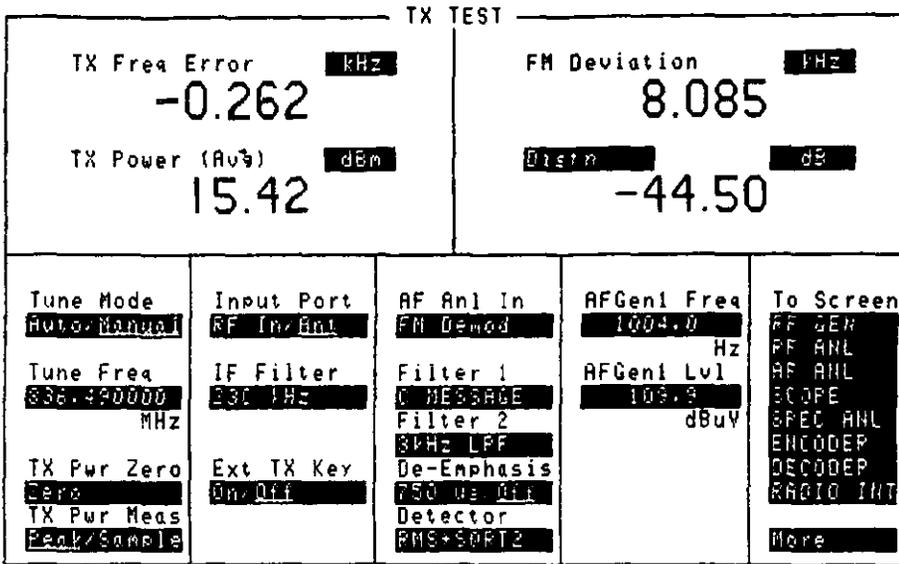


Figura 5.21. Medición de la distorsión de la señal de AF transmitida. (Resultado).

5.11. RUIDO EN LA TRANSMISION

Por medio de esta prueba es posible determinar el nivel de ruido permisible dentro de una señal de audio transmitida por un teléfono móvil en modo analógico. El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama de flujo 5.27.

La prueba inicia seleccionando el canal de frecuencia media 383 y un nivel máximo de potencia, con la finalidad de que el transmisor opere en sus condiciones extremas, se inicia la transmisión / recepción encendiendo el amplificador de potencia.

Es necesario colocar el conector externo de entrada / salida y habilitar a través de él una señal de audio de 1004 Hz con un nivel de -10.1 dBV; es necesario activar el compandor y el SAT. Se toma la lectura del nivel de la señal de audio en el equipo de medición, posteriormente se inhabilita la señal de 1004 Hz para obtener en este caso el nivel de ruido. Se verifica que el nivel de la señal de ruido esté al menos 32 dB por debajo del nivel de la señal de audio, según lo indica el estándar, si el resultado no es el esperado se procederá a hacer el ajuste necesario, en el cual se puede variar el nivel de la señal de audio, considerando que se puede afectar a otros parámetros relacionados al nivel de esta señal.

Antes de salir del modo de prueba se desactiva el SAT y se apaga el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

La aplicación del procedimiento anterior se muestra en el diagrama 5.28, considerando los comandos del teléfono móvil NEX 2600 y la configuración que requiere el equipo de medición HP 8920B para generar la señal de AF y efectuar el análisis correspondiente.

En la figura 5.22 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado de la primera parte del procedimiento, en el que se observa una desviación de frecuencia de 8.040 kHz al aplicar una AF de 1004 Hz a -10.1 dBV (109.9 dB μ V). En la figura 5.23 se muestra el resultado de la segunda parte del procedimiento, en el que se tiene una desviación de frecuencia de 0.044 kHz al inhabilitar la señal de AF. Para obtener la diferencia en dB entre estos dos niveles de señal podemos aplicar la siguiente relación:

$$\text{Ruido} = 20 \log 8.040 - 20 \log 0.044 = 45.61 \text{ dB}$$

Este resultado indica que el nivel de la señal de audio es mayor 45.61 dB que el nivel de ruido, cumpliendo con el estándar que indica que debe ser al menos 32 dB arriba de la señal de ruido.

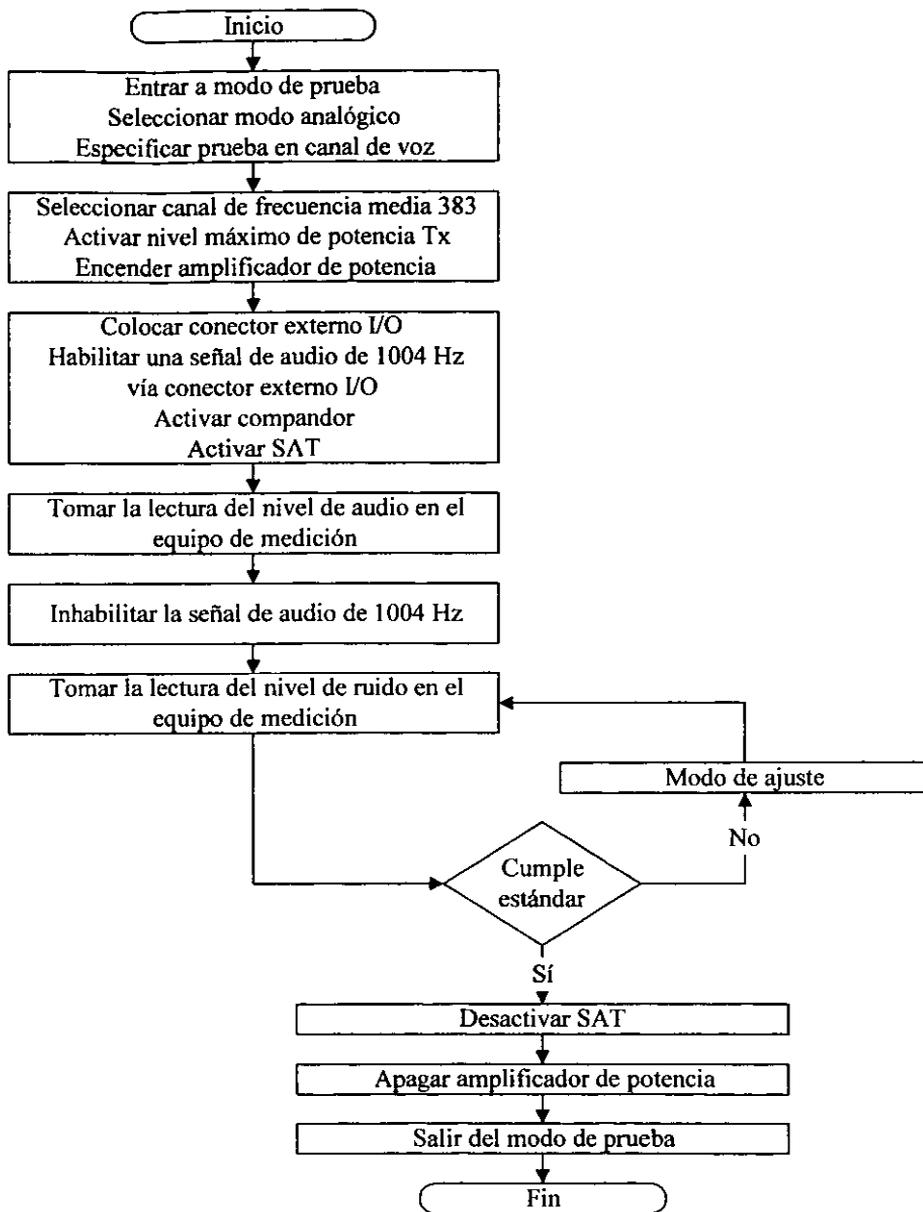


Diagrama 5.27. Medición de ruido en la transmisión, modo analógico.

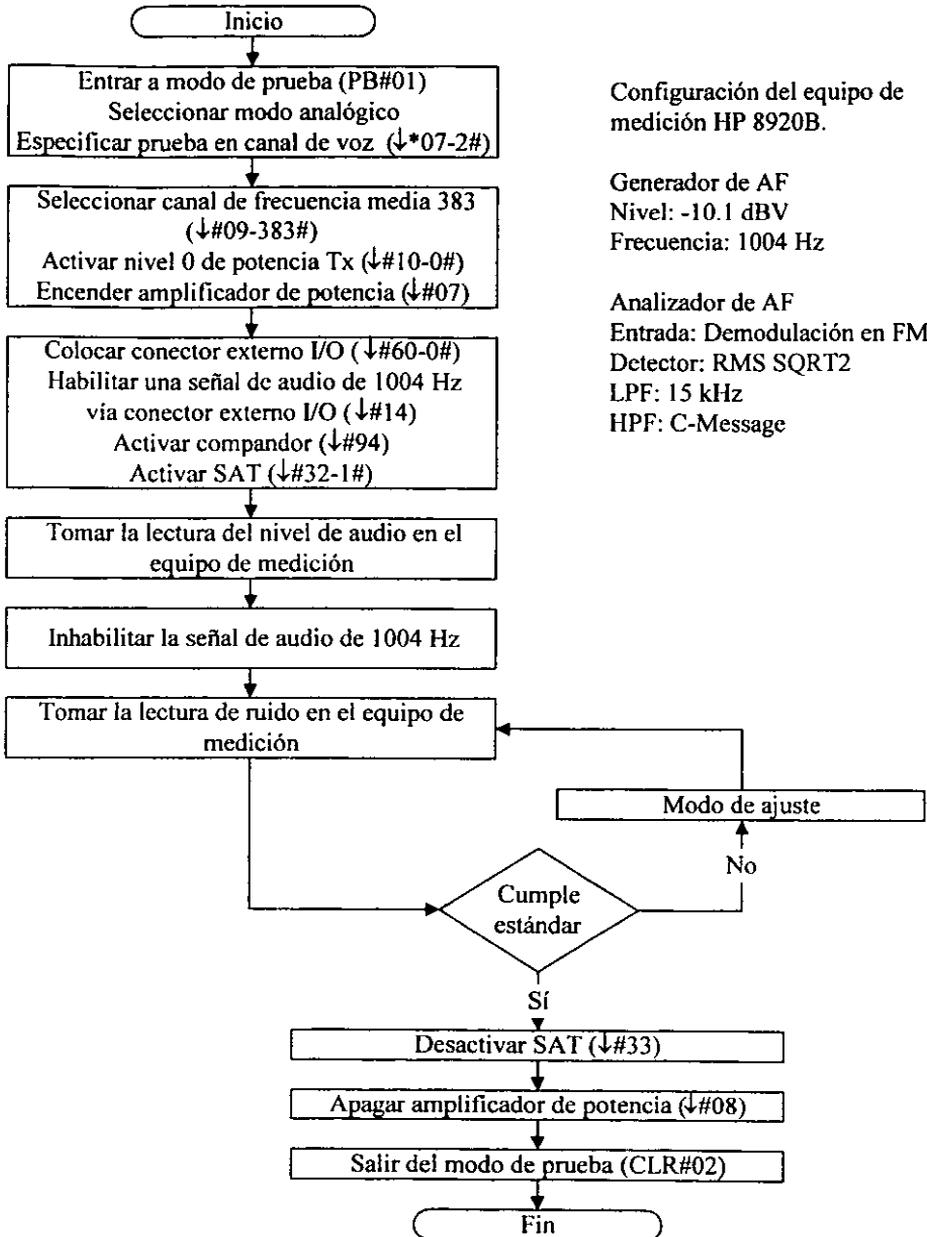


Diagrama 5.28. Medición de ruido en la transmisión, modo analógico. (Aplicación).

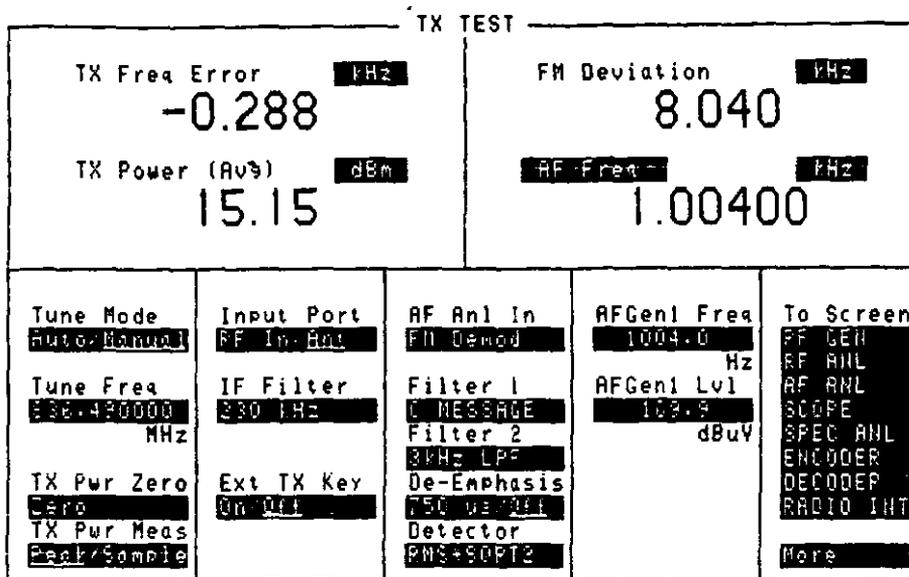


Figura 5.22. Medición de ruido en la transmisión. Resultado con AF a 1004 Hz, -10.1 dBV.

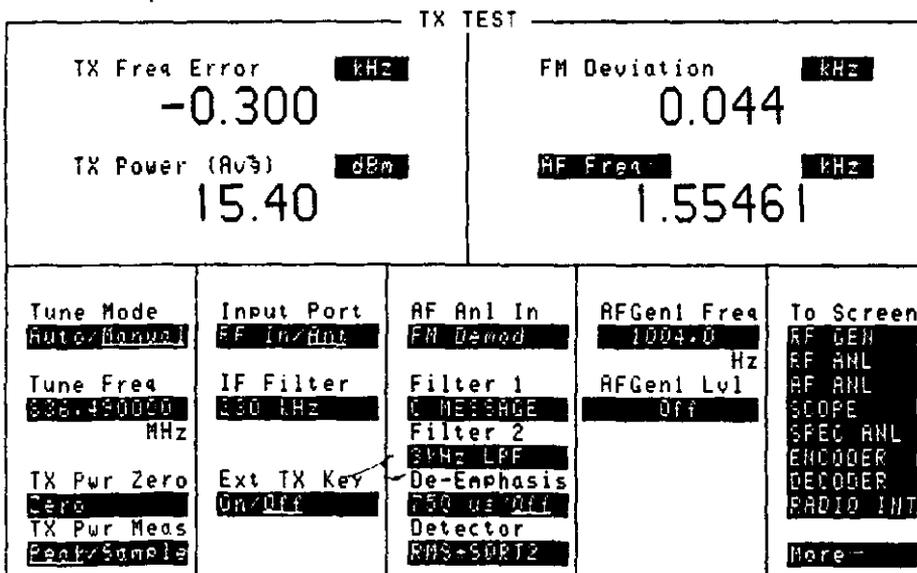


Figura 5.23. Medición de ruido en la transmisión. Resultado sin AF.

5.12. PRECISIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL, BANDA CELULAR

Esta prueba indica la calidad en la modulación digital en función de la magnitud del vector de error (EVM), que nos indica la diferencia entre el estado de fase real y el estado de fase ideal de los datos obtenidos de la desmodulación. El EVM se especifica como la relación entre la magnitud del vector error al vector ideal, en porcentaje.

Esta prueba se realiza en el canal de frecuencia media y el resultado se compara con el estándar, si el resultado no es el esperado se procederá a realizar los ajustes necesarios. Posteriormente es conveniente verificar el EVM en un canal de frecuencia baja y en un canal de frecuencia alta.

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.29. Dicho procedimiento se inicia poniendo el teléfono móvil en modo de prueba, seleccionando el modo digital, especificando prueba sobre canal de tráfico, seleccionando el canal de frecuencia media 383 y un nivel de potencia máximo, para que el transmisor opere en sus condiciones extremas. Se establece el $slot = 1$ y $DVCC = 001$ y se inicia la transmisión / recepción en TDMA.

Se toma la lectura del desempeño EVM en el equipo de medición y se verifica que cumpla con el estándar de menor o igual al 12.5 %, en caso contrario se debe entrar a modo de ajuste, en el que se puede variar el nivel de las señales I/Q previas a la modulación. Se selecciona el canal de frecuencia baja 991 y se verifica el desempeño EVM en el equipo de medición, repitiendo lo anterior en el canal de frecuencia alta 799. Para salir del modo de prueba se debe terminar la transmisión TDMA apagando el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.30 se muestra la aplicación del procedimiento anterior, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B, y efectuando un análisis de datos en modo digital. En modo digital es importante especificar en el equipo de medición el $slot$, el DVCC y el canal de tráfico, que fueron especificados en el teléfono móvil para la correcta sincronización de la transmisión / recepción de datos.

En la figura 5.24 se muestra la pantalla del equipo de medición, con el resultado del procedimiento para un canal de tráfico 383. Se puede observar una lectura de EVM igual a 9.137 %, cumpliendo esta lectura con el estándar que indica un EVM menor o igual a 12.5 %. En la parte inferior de la figura se muestran los datos de configuración del equipo de medición.

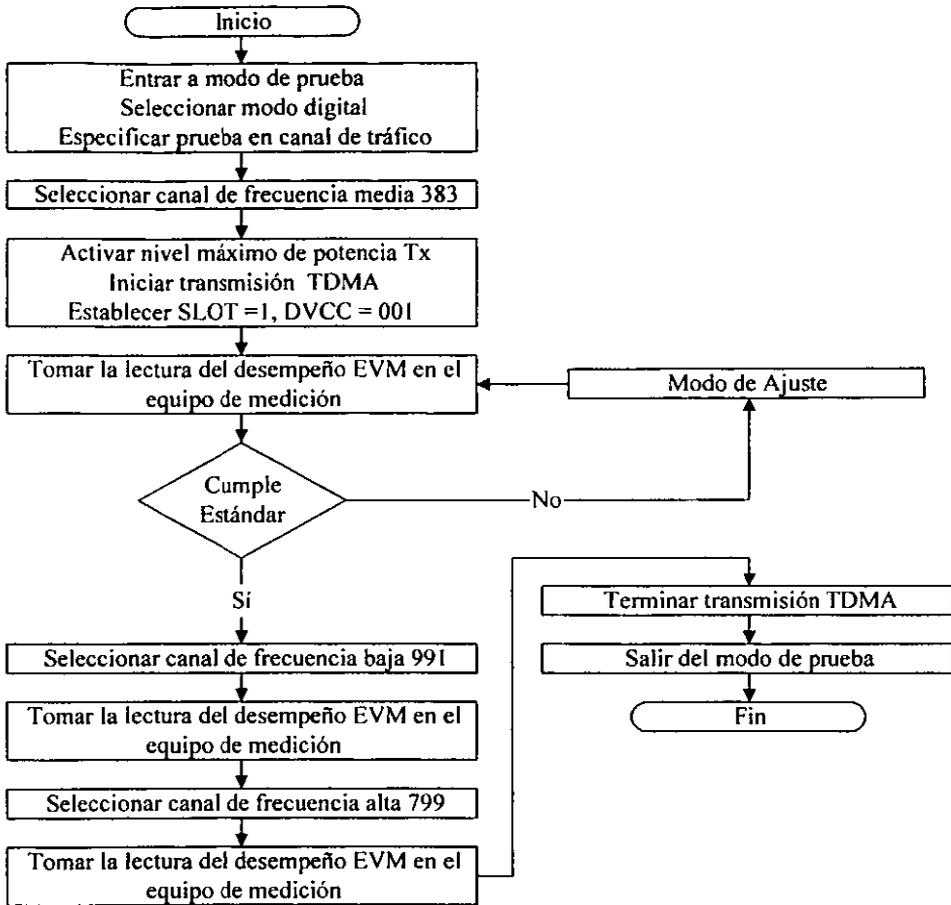


Diagrama 5.29. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda celular.

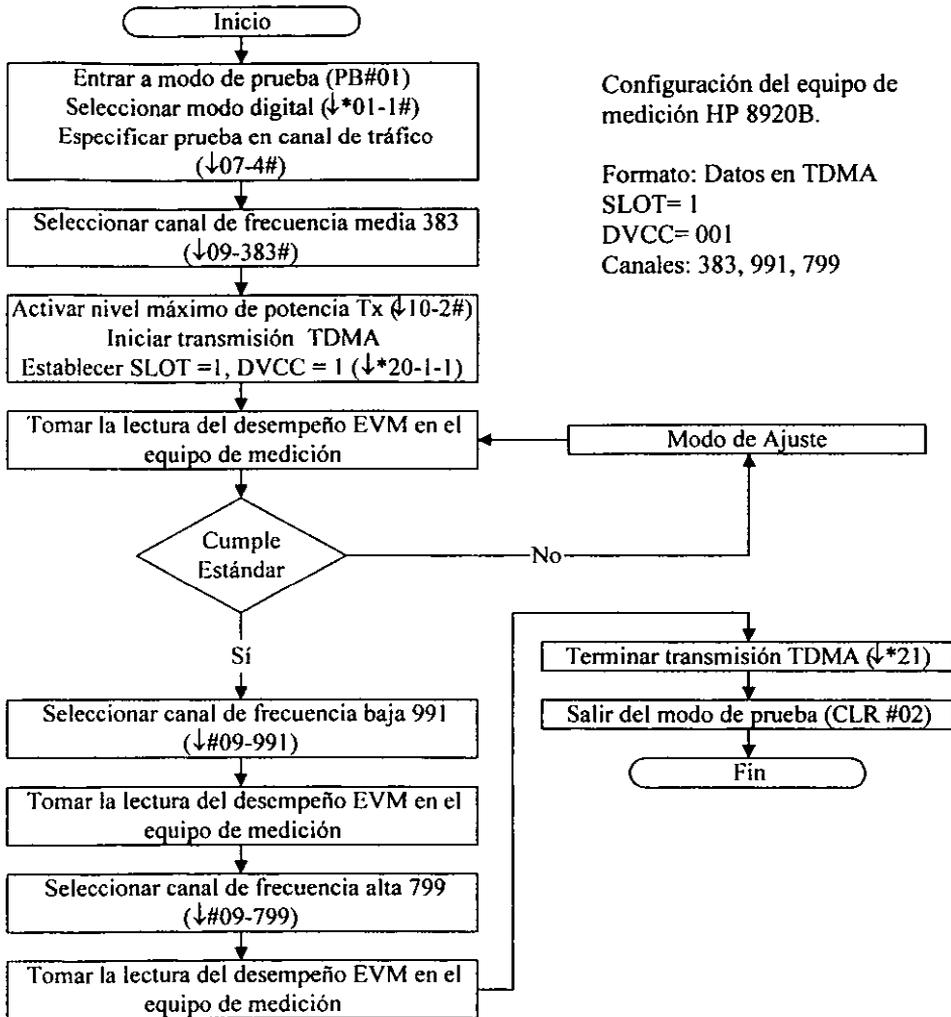


Diagrama 5.30. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda celular. (Aplicación).

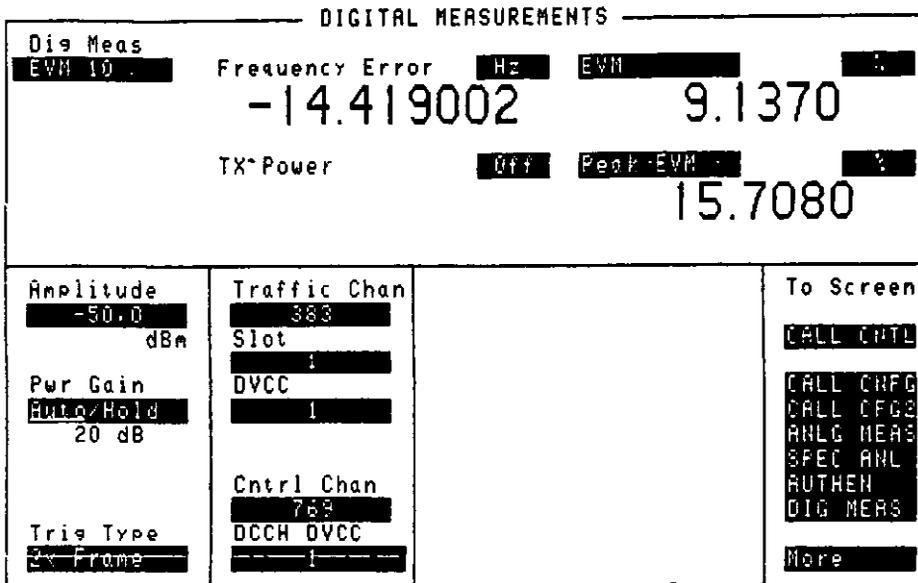


Figura 5.24. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda celular. (Resultado).

5.13. PRECISIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL, BANDA PCS

Esta prueba indica la calidad en la modulación digital en función de la magnitud del vector de error (EVM), que nos indica la diferencia entre el estado de fase real y el estado de fase ideal de los datos obtenidos de la demodulación. El EVM se especifica como la relación entre la magnitud del vector error al vector ideal, en porcentaje.

Esta prueba se realiza en el canal de frecuencia media y el resultado se compara con el estándar, si el resultado no es el esperado se procederá a realizar los ajustes necesarios. Posteriormente es conveniente verificar el EVM en un canal de frecuencia baja y en un canal de frecuencia alta.

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.31. Dicho procedimiento inicia poniendo el teléfono móvil en modo de prueba, seleccionando el modo digital, especificando prueba sobre canal de tráfico, seleccionando el canal de frecuencia media 383 y un nivel de potencia máximo, para que el transmisor opere en sus condiciones extremas. Se establece el *slot* = 1 y DVCC = 001 y se inicia la transmisión / recepción en TDMA.

Se toma la lectura del desempeño EVM en el equipo de medición y se verifica que cumpla con el estándar de menor o igual al 12.5 %, en caso contrario se debe entrar a modo de ajuste, en el que se puede variar el nivel de las señales I/Q previas a la modulación. Se selecciona el canal de frecuencia baja 2 y se verifica el desempeño EVM en el equipo de medición, repitiendo lo anterior en el canal de frecuencia alta 1998.

Para salir del modo de prueba se debe terminar la transmisión TDMA apagando el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.32 se muestra la aplicación del procedimiento anterior, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B, y efectuando un análisis de datos en modo digital PCS. En modo digital es importante especificar en el equipo de medición el *slot*, el DVCC y el canal de tráfico, que fueron especificados en el teléfono móvil para la correcta sincronización de la transmisión / recepción de datos.

En la figura 5.25 se muestra la pantalla del equipo de medición, con el resultado del procedimiento para un canal de tráfico 1000. Se puede observar una lectura de EVM igual a 8.863 %, cumpliendo este valor con el estándar que indica un EVM menor o igual a 12.5 %. En la figura se muestran los datos de configuración del equipo de medición.

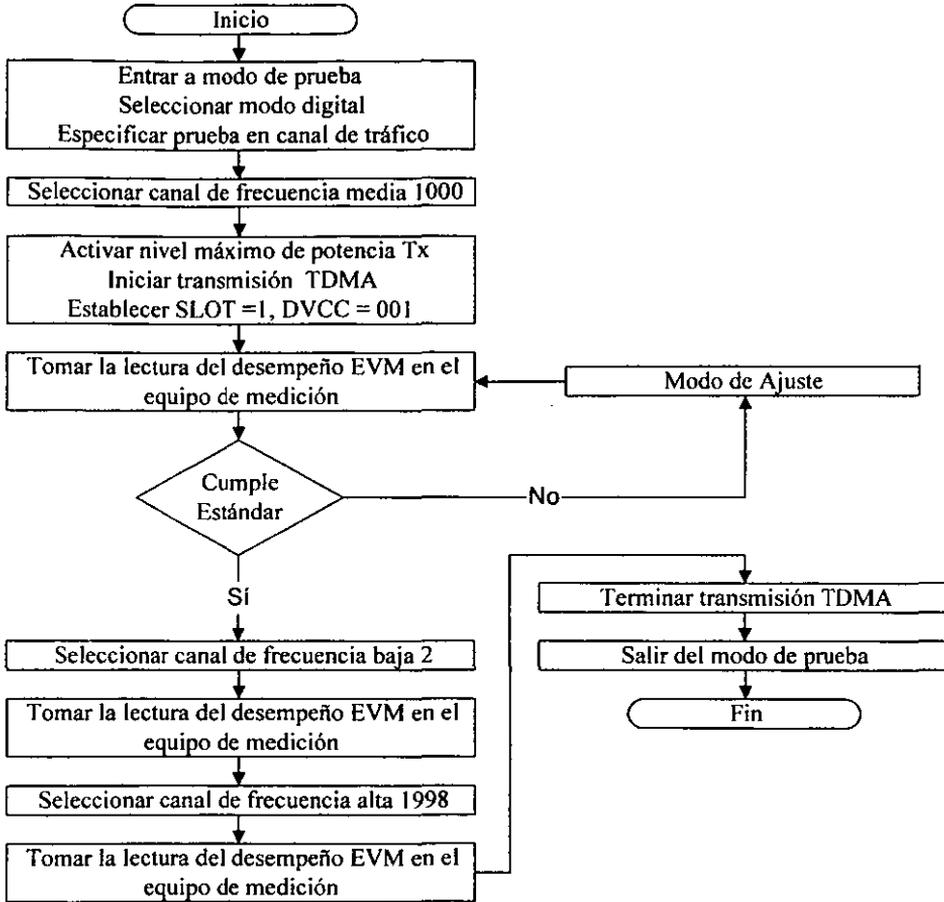


Diagrama 5.31. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda PCS.

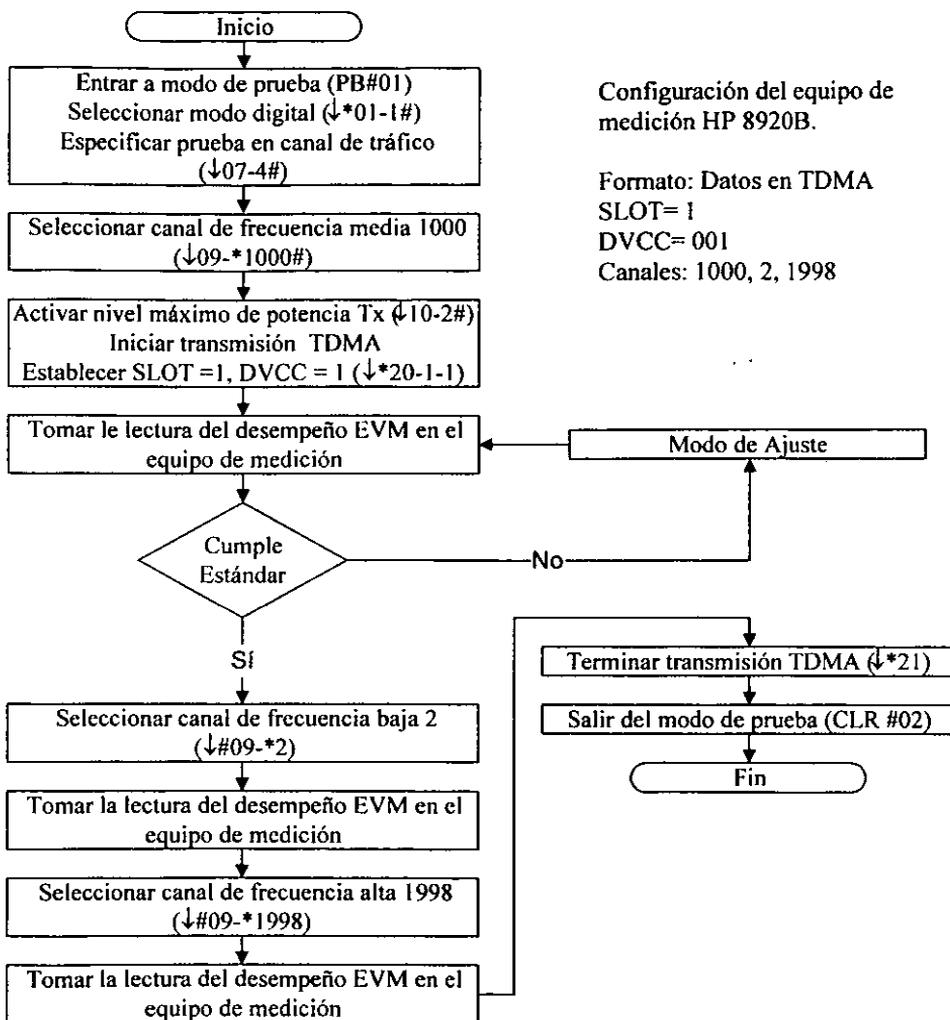


Diagrama 5.32. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda PCS. (Aplicación).

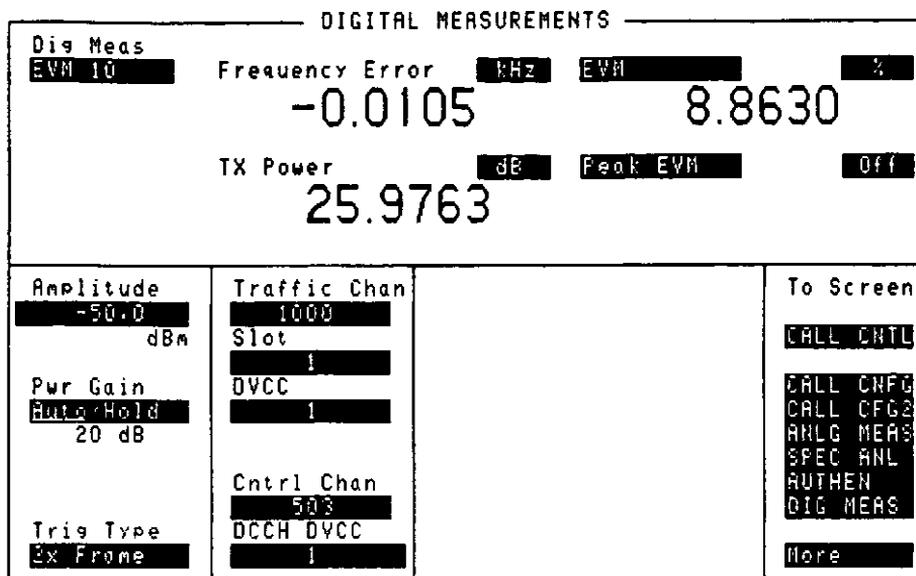


Figura 5.25. Medición de la precisión de la modulación en modo digital, banda PCS. (Resultado).

5.14. POTENCIA DE CANAL ADYACENTE, BANDA CELULAR

La medición de potencia de canal adyacente (ACP, *Adjacent Channel Power*) nos indica el que tan bien la señal transmitida está dentro del canal de frecuencia especificado, es decir, indica la potencia que interfiere en los canales de transmisión adyacentes.

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.33. Dicho procedimiento inicia activando el modo de prueba en el teléfono móvil, seleccionando el modo digital, especificando prueba sobre canal de tráfico, seleccionando el canal de frecuencia media 383 y un nivel de potencia máximo. Se establece el *slot* = 1 y DVCC= 001 y se inicia la transmisión / recepción en TDMA.

Se toma la lectura del ACP en el equipo de medición y se verifica si cumple con el estándar de ≥ 26 dB para los canales adyacentes 382 y 384, ≥ 45 dB para los primeros canales alternos 381 y 385, y ≥ 45 dB para los segundos canales alternos 380 y 386. Si el resultado no es el esperado, es necesario entrar a un modo de ajuste en el que se varía la ganancia del amplificador de potencia y/o se verifica la desviación de frecuencia de Tx. Es conveniente verificar el desempeño ACP en el canal de frecuencia baja 991 y en el de frecuencia alta 799.

Para salir del modo de prueba se termina la transmisión en TDMA apagando el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.34. se muestra la aplicación del procedimiento de medición de ACP en banda celular, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B, y efectuando un análisis de datos en modo digital. En modo digital es importante especificar en el equipo de medición el *slot*, el DVCC y el canal de tráfico, que fueron especificados en el teléfono móvil para la correcta sincronización de la transmisión / recepción de datos.

En la figura 5.26 se muestra el resultado obtenido en el equipo de medición, al aplicar el procedimiento para un canal de tráfico 383. Se observan seis lecturas diferentes, dos para los canales adyacentes inferior y superior de -30.967 dB y -29.732 dB respectivamente, dos para los primeros alternos superior e inferior de -56.826 dB y -57.153 dB respectivamente, y otros dos para los segundos alternos superior e inferior -67.917 dB y -68.934 dB respectivamente. Comparando los resultados anteriores con el estándar, el cual indica que la potencia del canal adyacente debe estar al menos 26 dB por debajo de la potencia a la frecuencia central, para los primeros y segundos alternos por lo menos 45 dB debajo, podemos concluir que están dentro del estándar.

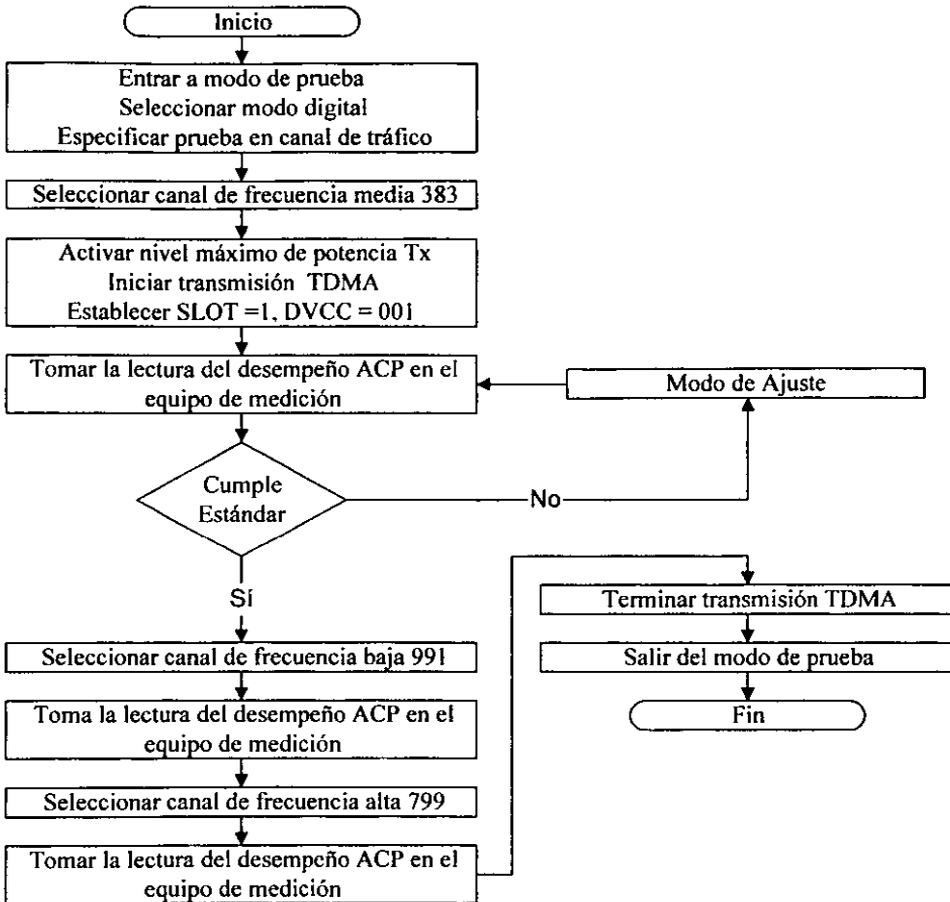


Diagrama 5.33. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda celular.

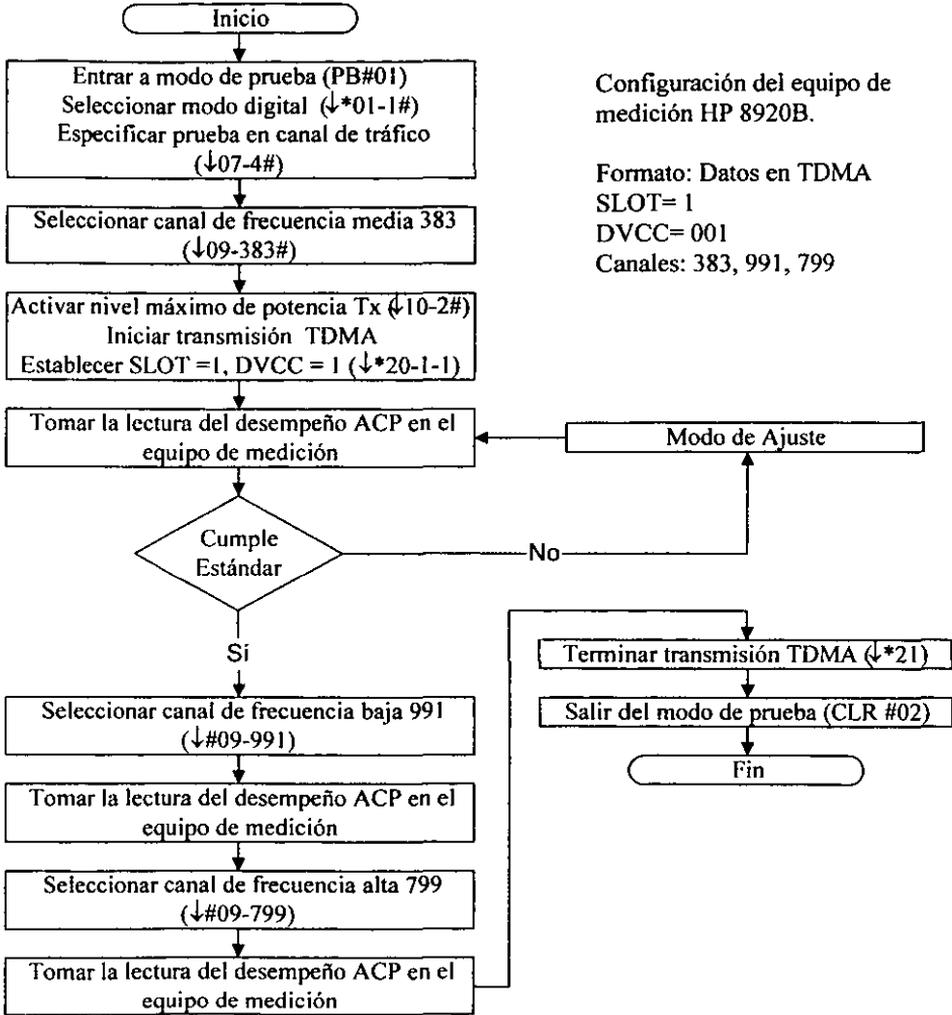


Diagrama 5.34. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda celular. (Aplicación).

| DIGITAL MEASUREMENTS | | | | |
|----------------------|--------------|----|-----------|----|
| Dig Meas | Adj Lo | dB | Adj Hi | dB |
| Ad Ch Fur | -30.9670 | | -29.7325 | |
| | Alt Lo | dB | Alt Hi | dB |
| | -56.8266 | | -57.1536 | |
| | Alt2 Lo | dB | Alt2 Hi | dB |
| | -67.9170 | | -68.9341 | |
| Amplitude | Traffic Chan | | To Screen | |
| -50.0 | 383 | | CALL CNTL | |
| dBm | Slot | | CALL CNFG | |
| | 1 | | CALL CFG3 | |
| Pwr Gain | DVCC | | ANLG MEAS | |
| Auto Hold | 1 | | SPEC ANL | |
| 20 dB | | | AUTHEN | |
| | Cntrl Chan | | DIG MEAS | |
| | 769 | | | |
| Trig Type | DCCH DVCC | | | |
| 2x Frame | 1 | | | |
| | | | None | |

Figura 5.26. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda celular. (Resultado).

5.15. POTENCIA DE CANAL ADYACENTE, BANDA PCS

La medición de potencia de canal adyacente nos indica el que tan bien la señal transmitida está dentro del canal de frecuencia de especificado, es decir, indica la potencia que interfiere en los canales de transmisión adyacentes.

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.35. Dicho procedimiento inicia activando el modo de prueba en el teléfono móvil, seleccionando el modo digital, especificando prueba sobre canal de tráfico, seleccionando el canal de frecuencia media 1000 y un nivel de potencia máximo, para que el transmisor opere en sus condiciones extremas. Se establece el *slot* = 1 y DVCC= 001 y se inicia la transmisión / recepción en TDMA.

Se toma la lectura del ACP en el equipo de medición y se verifica si cumple con el estándar de ≥ 26 dB para los canales adyacentes 999 y 1001, ≥ 45 dB para los primeros canales alternos 998 y 1002, y ≥ 45 dB para los segundos canales alternos 997 y 1003. Si el resultado no es el esperado, es necesario entrar a un modo de ajuste en el que se varía la ganancia del amplificador de potencia y/o se verifica la desviación de frecuencia de Tx. Es conveniente verificar el desempeño ACP en el canal de frecuencia baja 2 y en el de frecuencia alta 1998.

Para salir del modo de prueba se termina la transmisión en TDMA apagando el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.36. se muestra la aplicación del procedimiento de medición de ACP en banda PCS, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B, y efectuando un análisis de datos en modo digital. En modo digital es importante especificar en el equipo de medición el *slot*, el DVCC y el canal de tráfico, que fueron especificados en el teléfono móvil para la correcta sincronización de la transmisión / recepción de datos.

En la figura 5.27 se muestra el resultado obtenido en el equipo de medición, al aplicar el procedimiento para un canal de tráfico 1000. Se observan seis lecturas diferentes, dos para los canales adyacentes inferior y superior de -31.613 dB y -30.190 dB respectivamente, dos para los primeros alternos superior e inferior de -54.206 dB y -53.758 dB respectivamente y otros dos para los segundos alternos superior e inferior -60.339 dB y -59.977 respectivamente. Comparando los resultados anteriores con el estándar, el cual indica que la potencia del canal adyacente debe estar al menos 26 dB por debajo de la potencia a la frecuencia central, para los primeros y segundos alternos por lo menos 45 dB debajo, podemos concluir que están dentro del estándar.

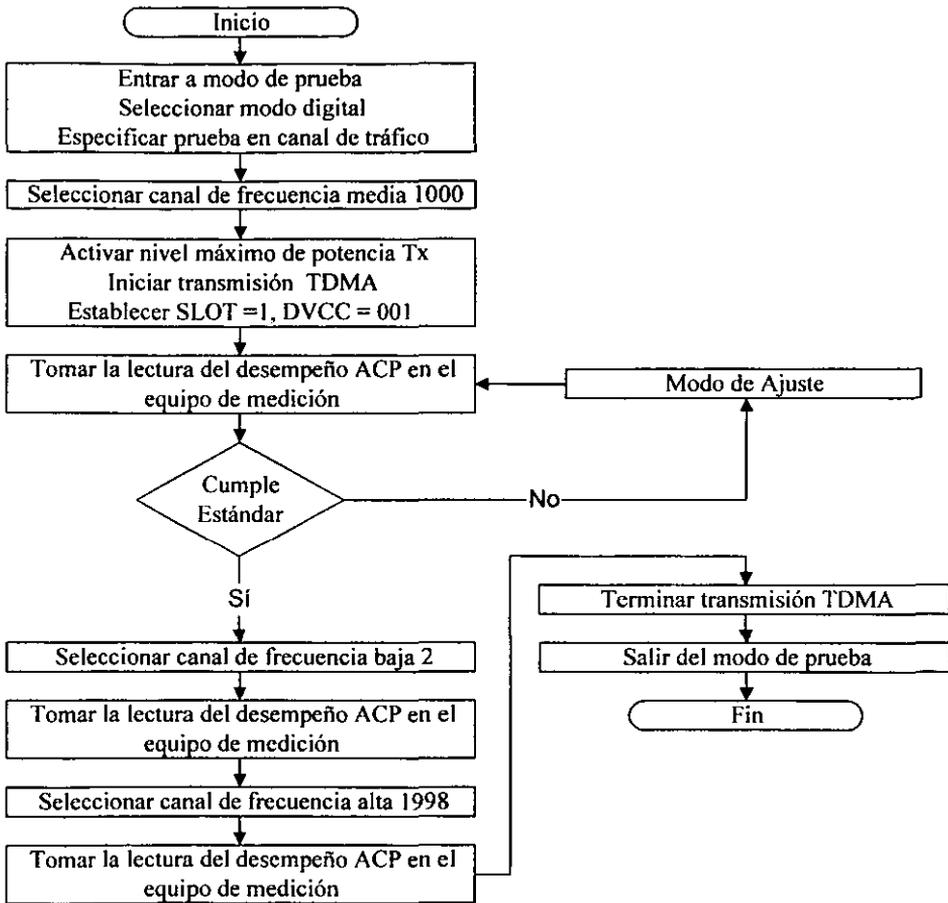


Diagrama 5.35. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda PCS.

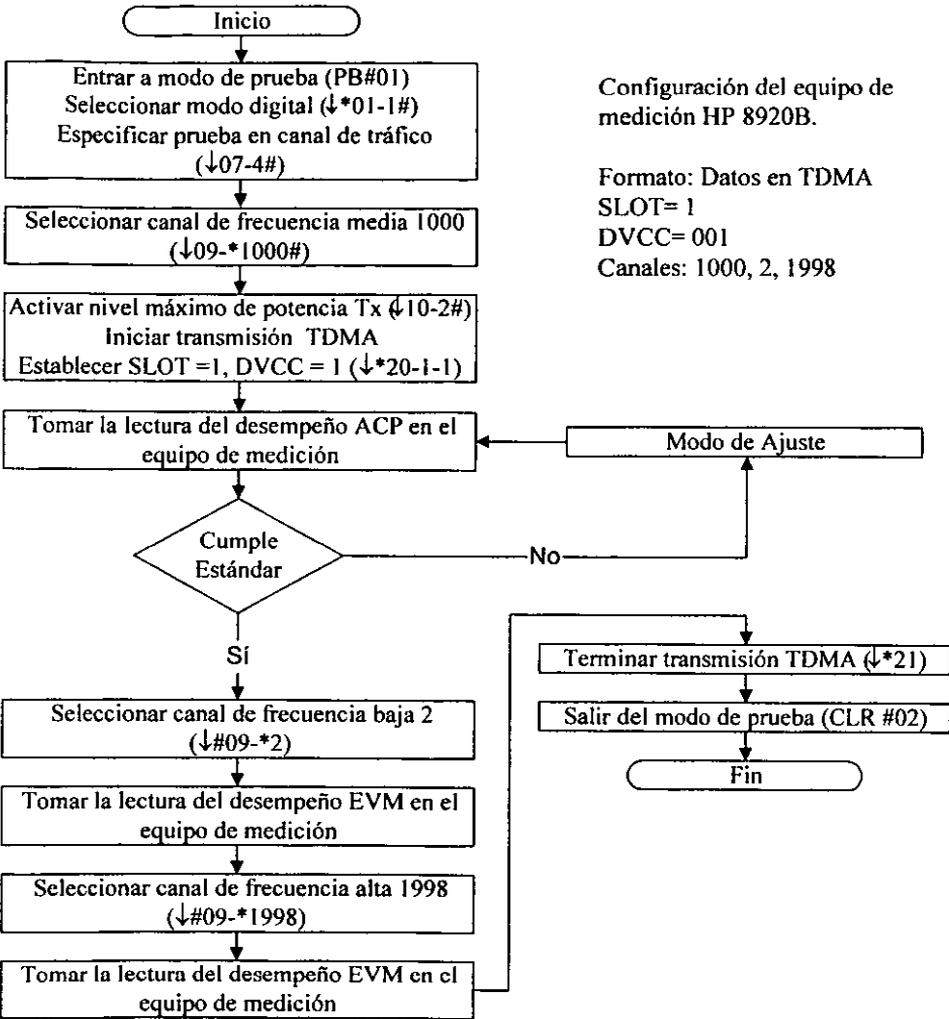


Diagrama 5.36. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda PCS. (Aplicación).

| DIGITAL MEASUREMENTS | | | |
|----------------------|----------|----------|----|
| Dig Meas | Adj Lo | -31.6135 | dB |
| Adj Hi | -30.1908 | dB | |
| Alt Lo | -54.2063 | dB | |
| Alt Hi | -53.7584 | dB | |
| Alt2 Lo | -60.3397 | dB | |
| Alt2 Hi | -59.9779 | dB | |

| | | |
|-----------|--------------|-----------|
| Amplitude | Traffic Chan | To Screen |
| -50.0 | 1000 | CALL CNTL |
| dBm | Slot | CALL CFG3 |
| Pwr Gain | 1 | ANLG MEAS |
| Auto Hold | DVCC | SPEC ANL |
| 20 dB | 1 | AUTHEM |
| Trig Type | Cntrl Chan | DIG MEAS |
| 2x Frame | 503 | None |
| | DCCH DVCC | |
| | 3 | |

Figura 5.27. Medición de potencia de canal adyacente en modo digital, banda PCS. (Resultado).

5.16. SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR EN MODO ANALÓGICO

Con esta prueba se determina la sensibilidad del receptor de un teléfono móvil en modo analógico. La sensibilidad es medida por medio del SINAD (*Signal Noise And Distortion*, Señal, Ruido y Distorsión), el cual está expresado como la relación señal más ruido y distorsión, entre el ruido y distorsión.

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.37. Dicho procedimiento se inicia poniendo al teléfono móvil en modo de prueba, indicando su operación en modo analógico y especificando prueba en canal de voz. Se selecciona el canal de frecuencia media 383 y un nivel de potencia máximo con la finalidad de que el transmisor opere en condiciones extremas. Después de las indicaciones anteriores se inicia la transmisión / recepción encendiendo el amplificador de potencia.

Es necesario transmitirle al teléfono móvil, vía antena / conector RF, una señal modulada en FM, activar el compandor, colocar el conector externo de entrada / salida para habilitar al equipo de medición, la señal de AF producto de la demodulación realizada por el teléfono móvil.

Se obtiene la lectura del SINAD en el equipo de medición y se verifica que cumpla con el estándar >12 dB, si el resultado no es el esperado es necesario entrar a un modo de corrección, en el que se debe verificar algún posible problema en el *hardware* de la ruta de recepción y posteriormente hacer la prueba nuevamente.

Es conveniente verificar la sensibilidad del receptor en los canales de frecuencia baja 991 y frecuencia alta 799, tomando la lectura del SINAD correspondientes.

Para salir del modo de prueba se apaga el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.38 se muestra la aplicación del procedimiento de medición de SINAD, considerando los comandos específicos del teléfono móvil empleado y efectuando el análisis de AF recibido en el equipo de medición. En el diagrama se indica la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para la aplicación del procedimiento.

En la figura 5.28 se muestra la pantalla del equipo de medición, con el resultado del procedimiento para el canal medio 383. Se puede observar la lectura de SINAD de 16.22 dB, cumpliendo con el estándar que indica un valor mayor de 12 dB para una señal de RF de -116 dBm. En la figura se muestran los datos de configuración del equipo de medición.

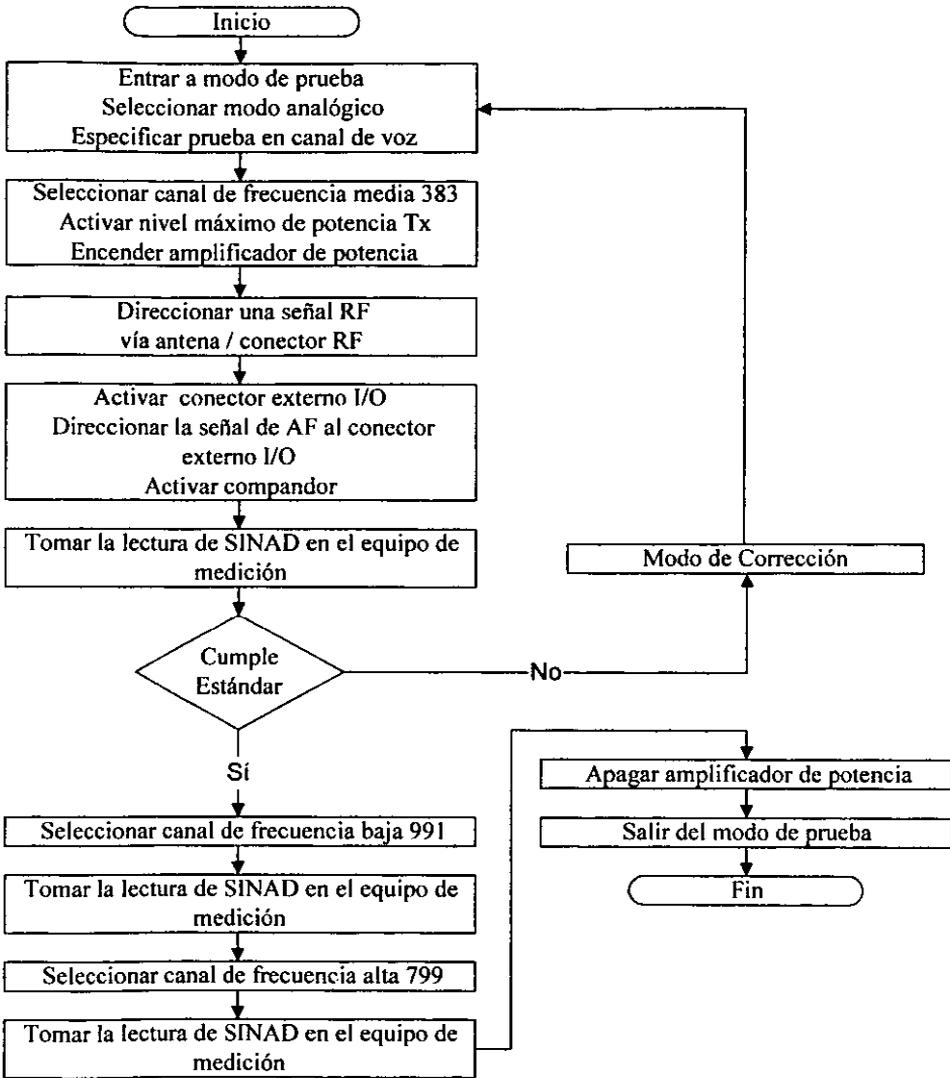


Diagrama 5.37. Medición de SINAD en modo analógico, banda celular.

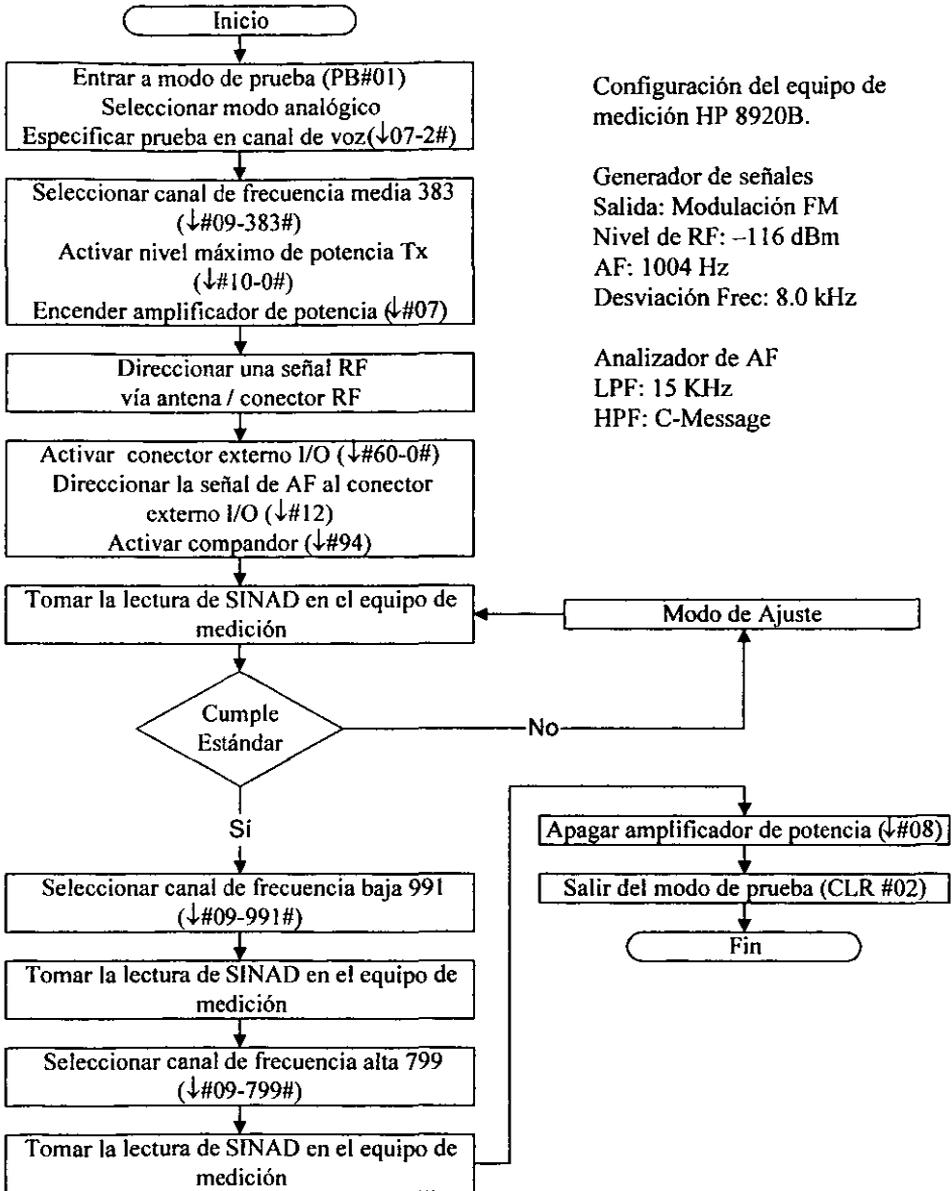


Diagrama 5.38. Medición de SINAD en modo analógico, banda celular. (Aplicación).

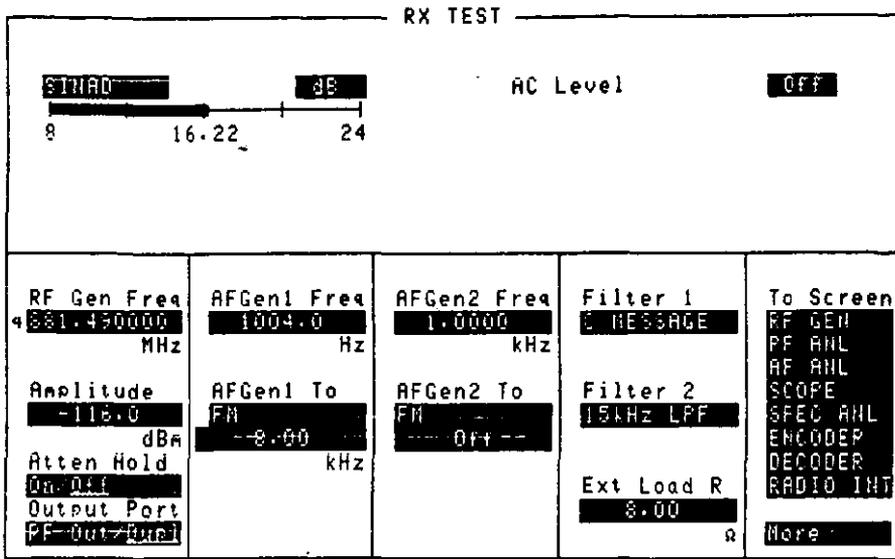


Figura 5.28. Medición de SINAD en modo analógico, banda celular. (Resultado).

5.17. SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR EN MODO DIGITAL

Con esta prueba se determina la sensibilidad del receptor de un teléfono móvil en modo digital. La sensibilidad es medida por medio del BER, el cual nos indica la relación entre el número de bits recibidos de manera errónea y el número de bits totales recibidos.

Para esta prueba es necesario implementar un modo de realimentación de datos, en este modo, el equipo de medición transmite una portadora modulada con una secuencia de datos conocida, el teléfono móvil demodula, obteniendo los datos para modularlos nuevamente y hacer su retransmisión hacia el equipo de medición, donde son comparados con los datos transmitidos originalmente y determinar el BER.

5.17.1. Sensibilidad del Receptor en Modo Digital, Banda Celular

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.39. Dicho procedimiento se inicia seleccionando el modo digital y especificando la prueba en canal de tráfico en la banda celular. Se selecciona el canal de frecuencia media 383 y un nivel de potencia máximo con la finalidad de que el transmisor opere en condiciones extremas. Se establece el *slot* y el DVCC y se inicia la transmisión / recepción TDMA encendiendo el amplificador de potencia.

Es necesario transmitirle al teléfono móvil, vía antena / conector RF, una señal modulada a la frecuencia correspondiente del canal 383, la cual es la señal de entrada del modo de realimentación. Se toma la lectura del BER en el equipo de medición y se verifica que cumpla con el estándar de $\leq 3\%$, si el resultado no es el esperado es necesario entrar a un modo de corrección para verificar algún posible problema en el *hardware* de la ruta de recepción / transmisión y posteriormente hacer la prueba nuevamente.

Es conveniente verificar la sensibilidad del receptor en los canales de frecuencia baja 991 y frecuencia alta 799, tomando las lecturas del BER correspondientes. Se termina la transmisión / recepción TDMA apagando el amplificador de potencia y de esta forma se salir del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.40. se muestra la aplicación del procedimiento de medición del BER en banda celular, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B y efectuando un análisis de datos en el equipo de medición. En modo digital es importante especificar en el equipo de medición el *slot*, el DVCC y el canal de tráfico, que fueron especificados en el teléfono móvil para la correcta sincronización de la transmisión / recepción de datos.

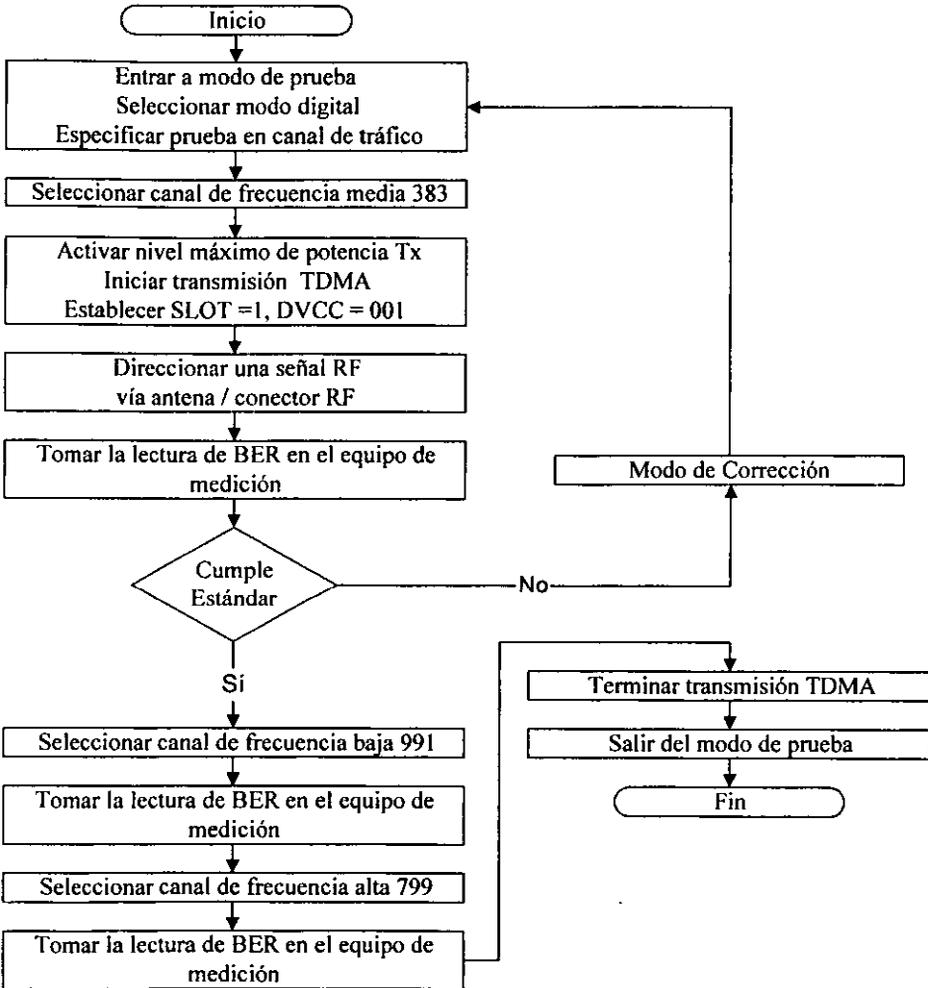


Diagrama 5.39. Medición de BER en modo digital, banda celular.

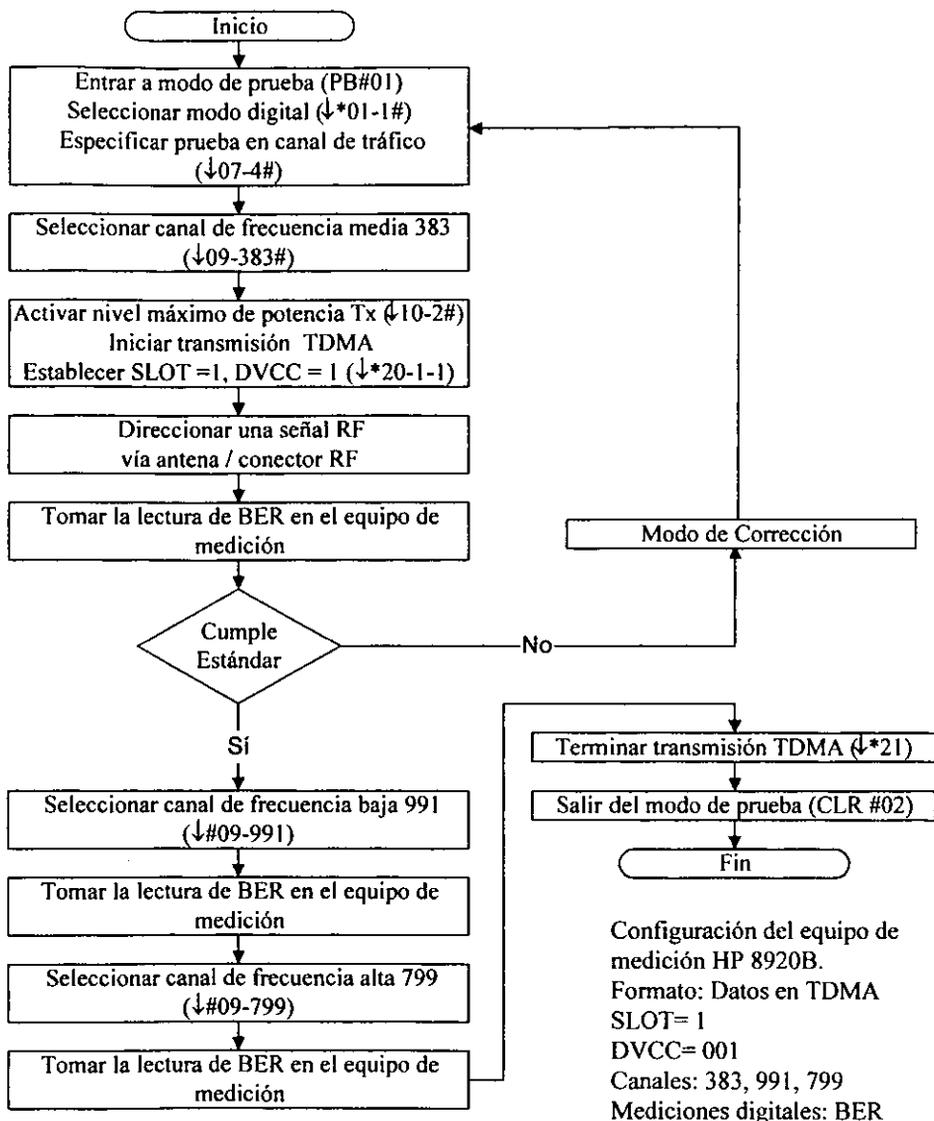


Diagrama 5.40. Medición de BER en modo digital, banda celular. (Aplicación).

En la figura 5.29 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado obtenido al aplicar el procedimiento para el canal de tráfico 383, en ella se observa una medición de BER igual a 0.0197 %, para una amplitud de RF de -110 dBm. El valor de BER desplegado está dentro del estándar el cual nos indica un valor menor o igual al 3 %.

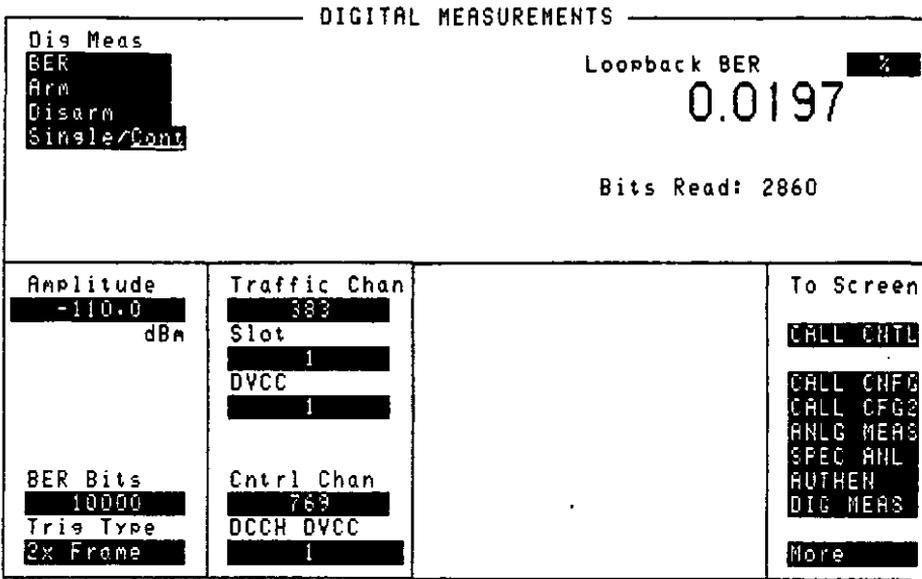


Figura 5.29. Medición de BER en modo digital, banda celular. (Resultado).

5.17.2. Sensibilidad del Receptor en Modo Digital, Banda PCS

El procedimiento requerido para esta prueba se presenta en el diagrama 5.41. Dicho procedimiento inicia seleccionando el modo digital y especificando la prueba en canal de tráfico en la banda celular. Se selecciona el canal de frecuencia media 1000 y un nivel de potencia máximo con la finalidad de que el transmisor opere en condiciones extremas. Se establece el *slot* y el DVCC e inicia la transmisión / recepción TDMA encendiendo el amplificador de potencia.

Es necesario transmitirle al teléfono móvil, vía antena / conector RF, una señal modulada a la frecuencia correspondiente del canal 1000, la cual es la señal de entrada del modo de realimentación. Se toma la lectura del BER en el equipo de medición y se verifica que cumpla con el estándar de $\leq 3\%$, si el resultado no es el esperado, es necesario entrar a un modo de corrección, en el que se debe verificar algún posible problema en el *hardware* de la ruta de recepción / transmisión y posteriormente hacer la prueba nuevamente.

Es conveniente verificar la sensibilidad del receptor en los canales de frecuencia baja 2 y frecuencia alta 1998, obteniendo las mediciones del BER correspondientes.

Se termina la transmisión / recepción TDMA apagando el amplificador de potencia y de esta forma se sale del modo de prueba.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.42. se muestra la aplicación del procedimiento de medición del BER en banda PCS, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B y efectuando un análisis de datos en el equipo de medición. En modo digital es importante especificar en el equipo de medición el *slot*, el DVCC y el canal de tráfico, que fueron especificados en el teléfono móvil para la correcta sincronización de la transmisión / recepción de datos.

En la figura 5.30 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado obtenido al aplicar el procedimiento para el canal de tráfico 383, en ella se observa una medición de BER igual a 0.4241 % para una amplitud de RF de -110 dBm. El valor de BER obtenido está dentro del estándar que nos indica un valor menor o igual al 3 %.

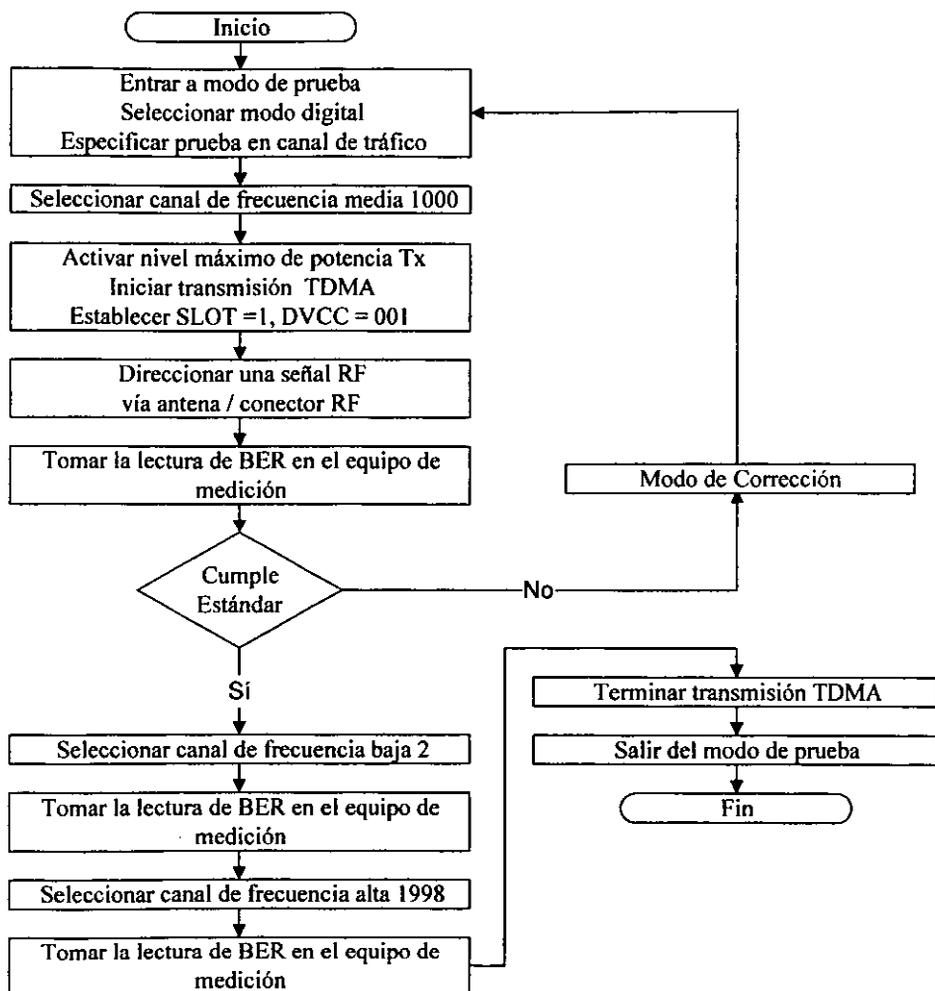


Diagrama 5.41. Medición de BER en modo digital, banda PCS.

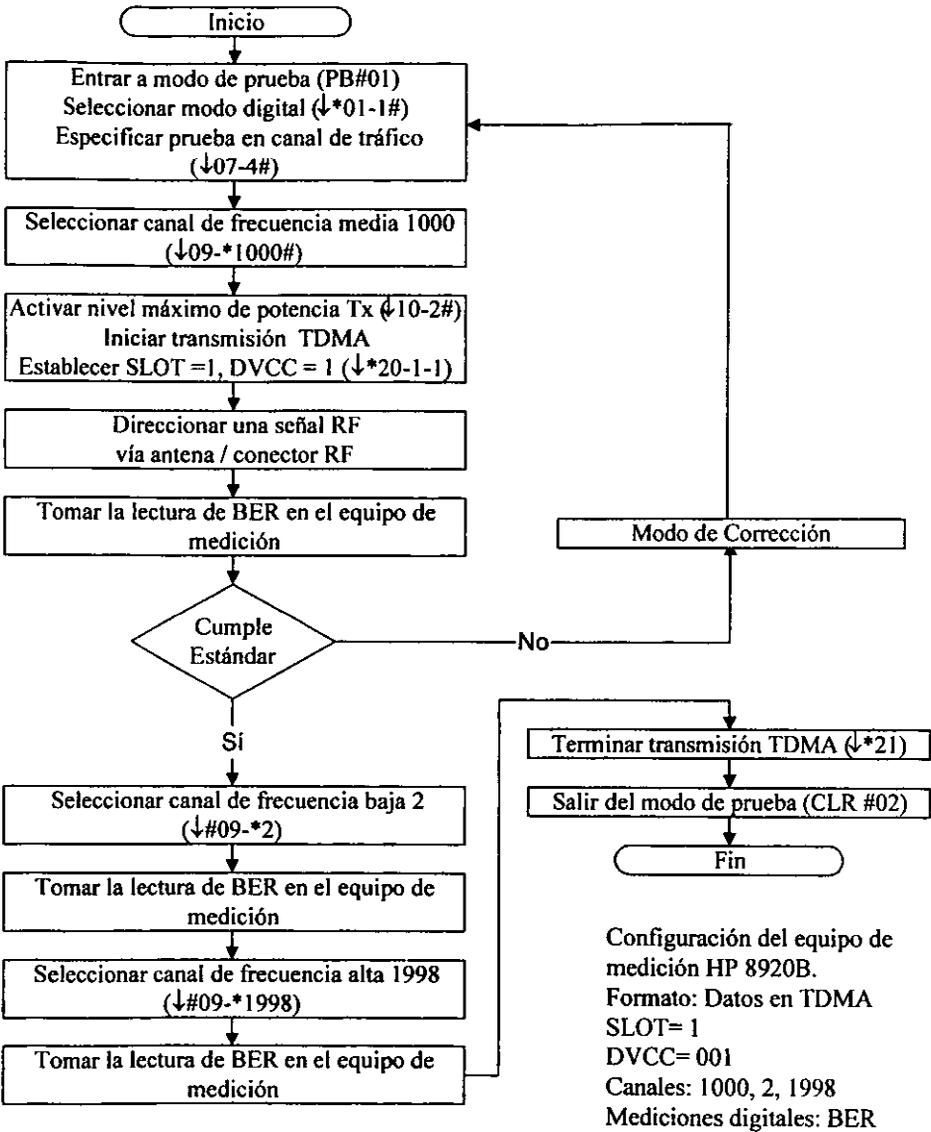


Diagrama 5.42. Medición de BER en modo digital, banda PCS. (Aplicación).

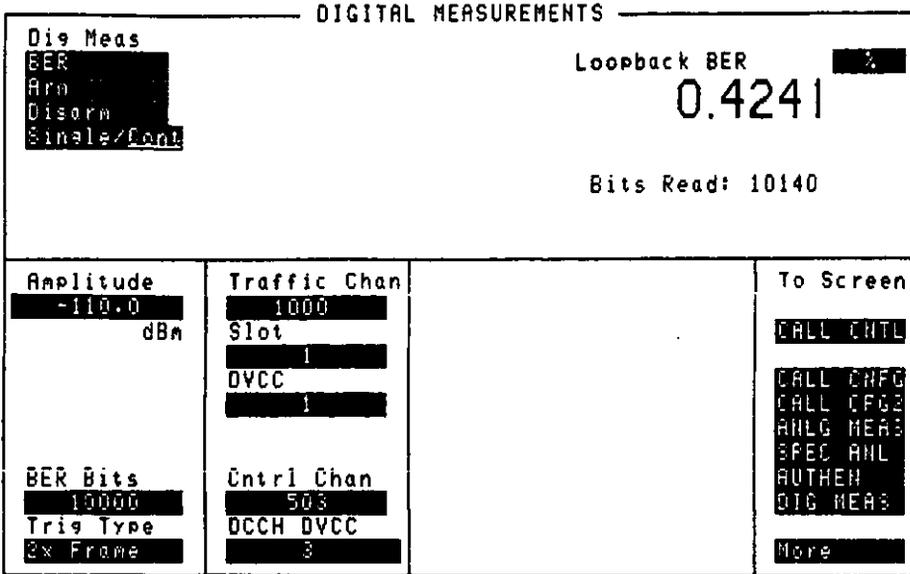


Figura 5.30. Medición de BER en modo digital, banda PCS. (Resultado).

5.18. NIVEL DE AUDIO FRECUENCIA DE RECEPCIÓN

En esta prueba se determina el nivel de la señal de AF recibida por el teléfono móvil.

La prueba, mostrada en la figura 5.43, se inicia seleccionando el modo analógico y especificando prueba en canal de voz. Se selecciona el canal de frecuencia media 383 con un nivel máximo de potencia con la finalidad de que el transmisor opere en condiciones extremas y se inicia la transmisión / recepción encendiendo el amplificador de potencia.

Es necesario generar una señal de AF con el equipo de medición, para transmitirla al teléfono móvil, con una frecuencia de 1004 Hz y una desviación en frecuencia de 8.0 kHz, para obtener una señal modulada a la frecuencia correspondiente del canal 383 con un nivel de RF de -50 dBm. Se activa el compandor y se coloca el conector externo de entrada / salida, para habilitar la señal de AF, producto de la demodulación, con una frecuencia de 1004 Hz, al equipo de medición.

Se obtiene la medición de la ganancia de la señal AF recibida y se verifica que cumpla con el estándar de -27.8 dBV ± 2 dBV, en caso contrario se entra al modo de ajuste, donde se modifica la ganancia de AF en la ruta de recepción.

Se sale del modo de prueba, apagando el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.44. se muestra la aplicación del procedimiento de medición de la señal de AF recibida por el teléfono móvil, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis de AF de la señal recibida.

En la figura 5.31 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado obtenido de aplicar el procedimiento anterior, la lectura del nivel de audio frecuencia recibido es de 92.88 dB μ V (-27.12 dBV). Este nivel se encuentra dentro del rango indicado por el estándar de -27.8 dBV ± 2 dB.

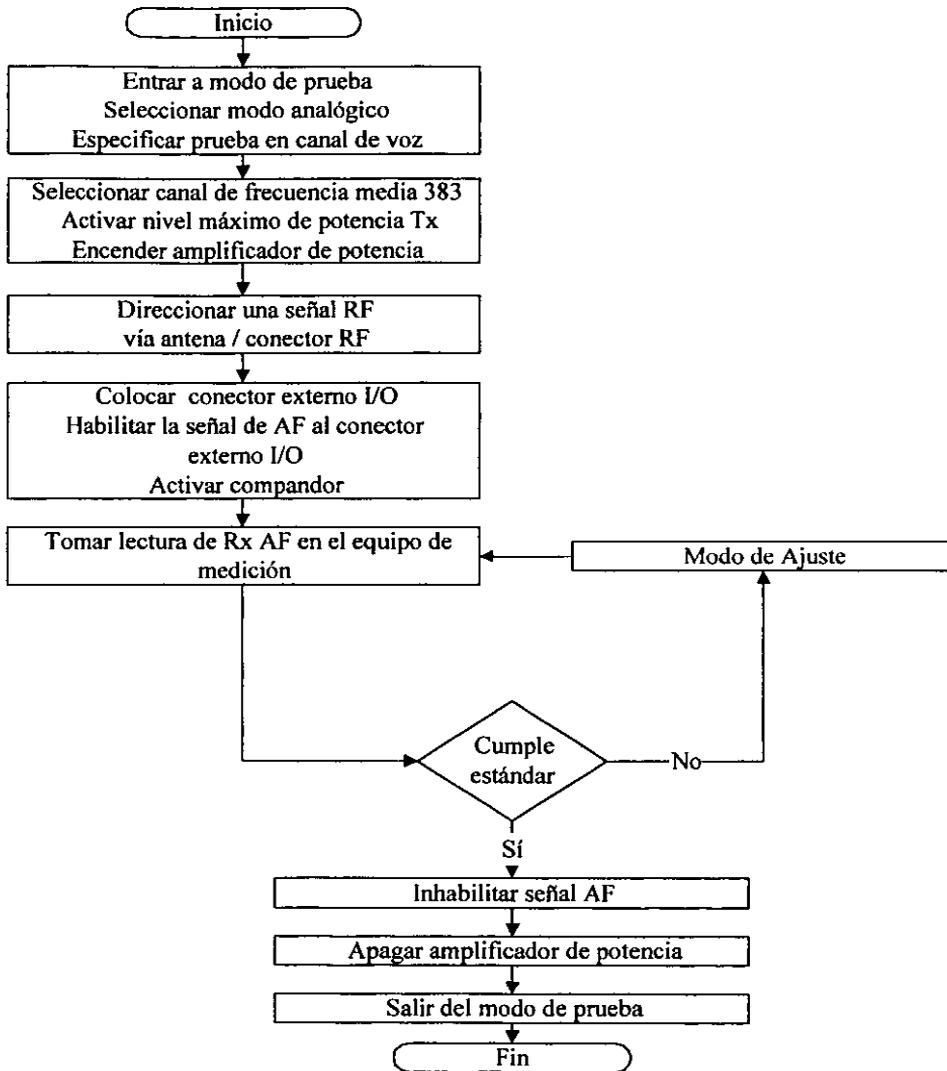


Diagrama 5.43. Medición de nivel de AF de Rx.

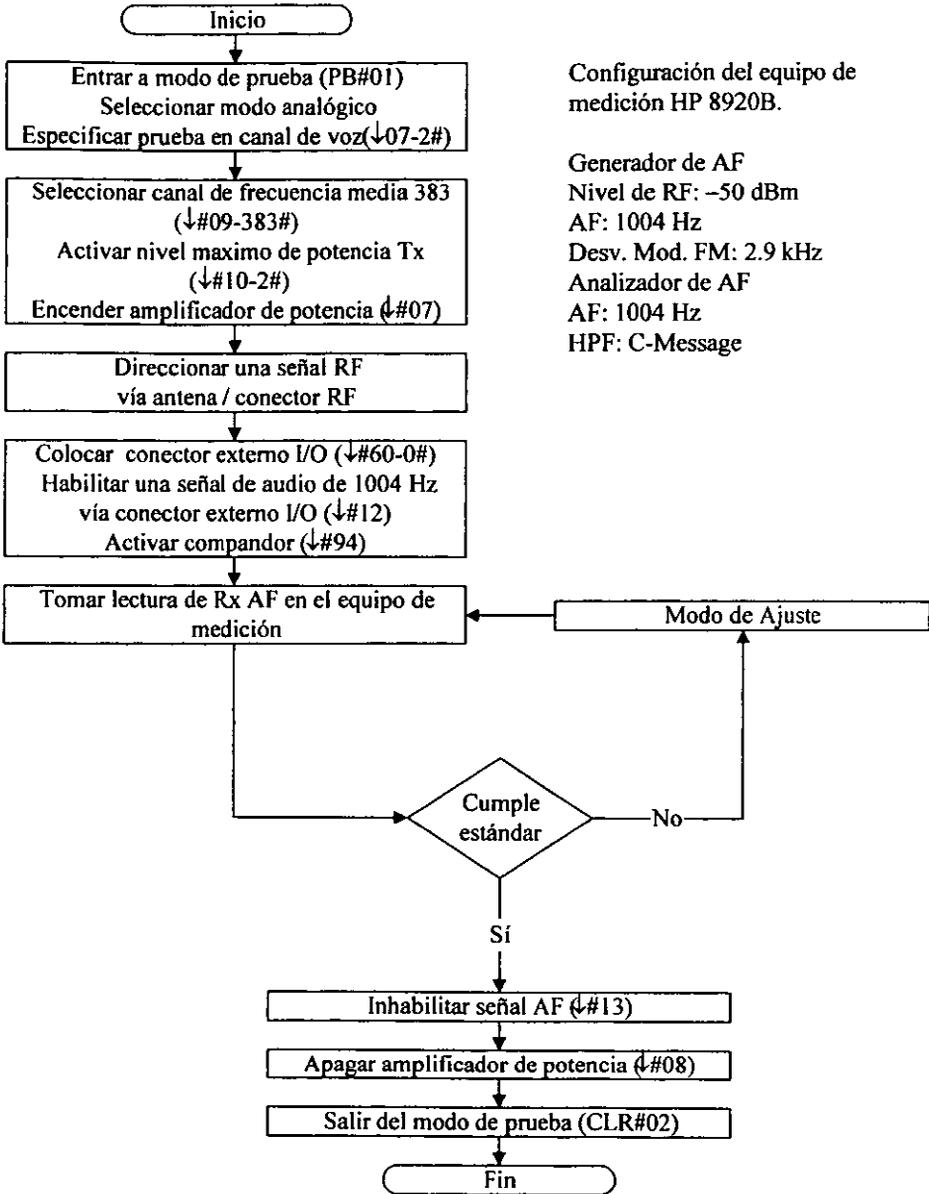


Diagrama 5.44. Medición de nivel de AF de Rx. (Aplicación).

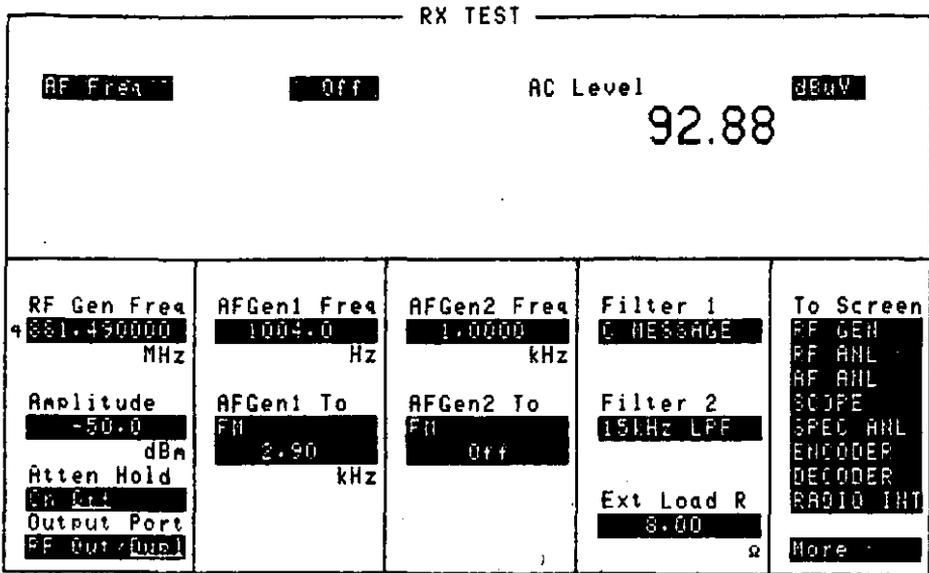


Figura 5.31. Medición de nivel de AF de recepción. (Resultado).

5.19. DISTORSIÓN DE LA SEÑAL DE AUDIO RECIBIDA

En esta prueba se determina la distorsión de la señal de audio recibida, causada por el proceso de demodulación en el teléfono móvil.

La prueba se inicia seleccionando el modo analógico y especificando prueba en canal de voz, como se muestra en la figura 5.45. Se selecciona el canal de frecuencia media 383 con un nivel máximo de potencia con la finalidad de que el transmisor opere en condiciones extremas y se inicia la transmisión / recepción encendiendo el amplificador de potencia.

Es necesario generar una señal de AF con el equipo de medición, para transmitirla al teléfono móvil, con una frecuencia de 1004 Hz y una desviación en frecuencia de 8.0 kHz, para obtener una señal modulada a la frecuencia correspondiente del canal 383 con un nivel de RF de -50 dBm. Se activa el compandor y se coloca el conector externo de entrada / salida, para habilitar la señal de AF, producto de la demodulación, con una frecuencia de 1004 Hz, al equipo de medición.

Se obtiene la medición de la distorsión de la señal de AF en el equipo de medición y se verifica que cumpla con el estándar de ≤ 26 dB, en caso contrario se entra al modo de ajuste para modificar la ganancia de AF en la ruta de recepción.

Se sale del modo de prueba, apagando el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.46. se muestra la aplicación del procedimiento de medición de la distorsión de la señal de audio producto de la demodulación en el teléfono móvil, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis de la señal recibida.

En la figura 5.32 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado del procedimiento, en ella se observa una distorsión de AF de -40.69 dB para una AF moduladora a 1004 Hz, desviación de frecuencia de 8 kHz y portadora de -50 dBm de amplitud. La distorsión obtenida es menor a los -26 dB indicados por el estándar.

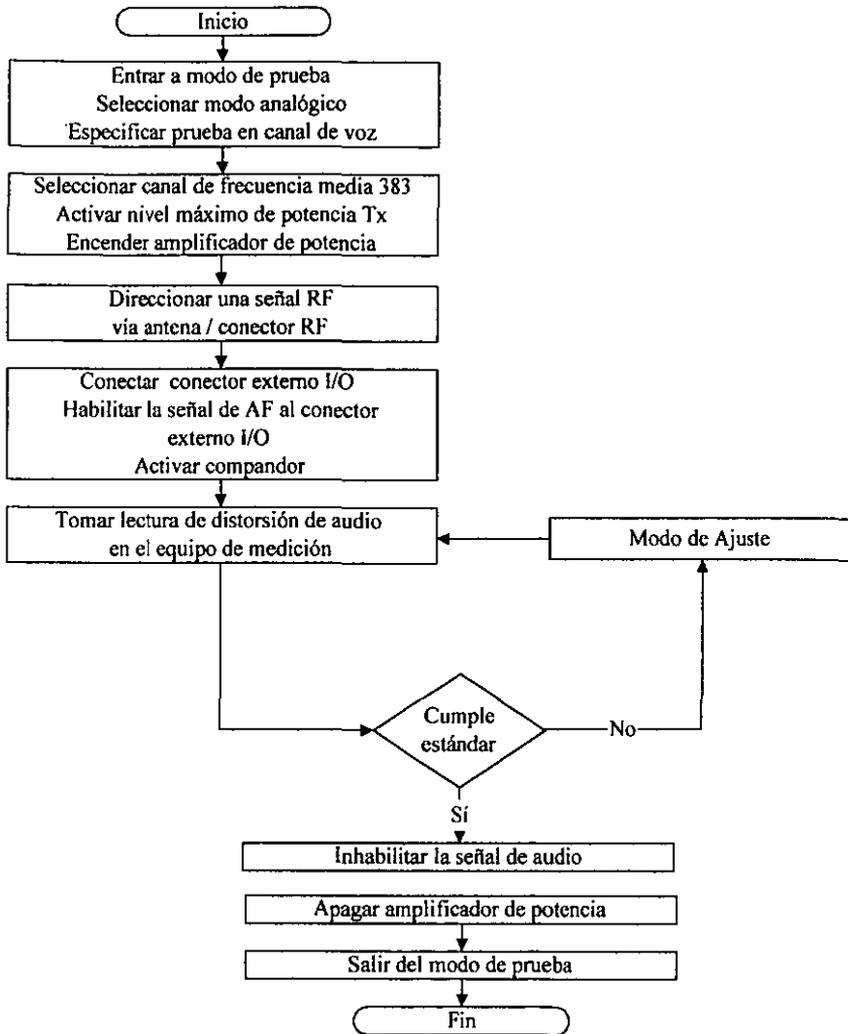


Diagrama 5.45. Medición de la distorsión de la señal de AF de Rx.

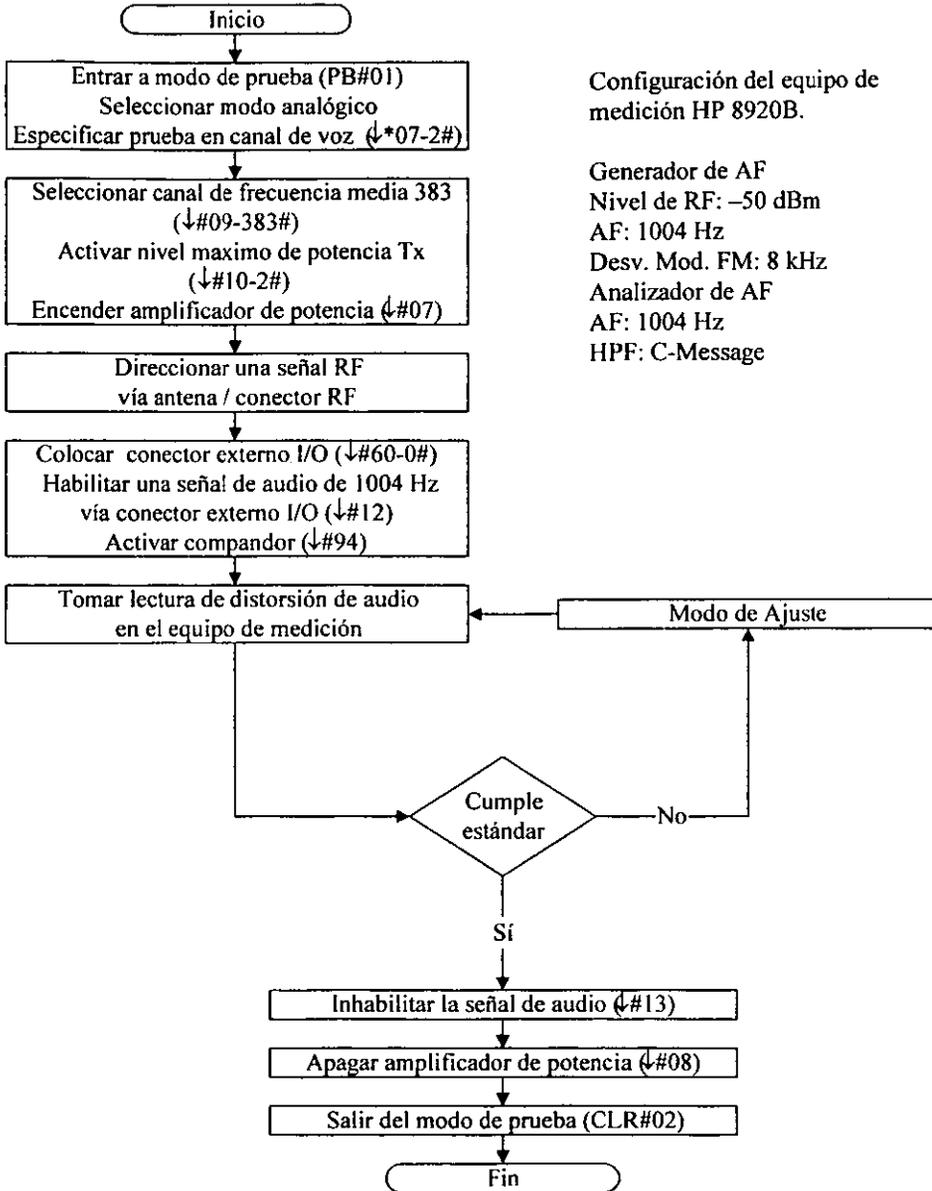


Diagrama 5.46. Medición de la distorsión de la señal de AF de Rx. (Aplicación).

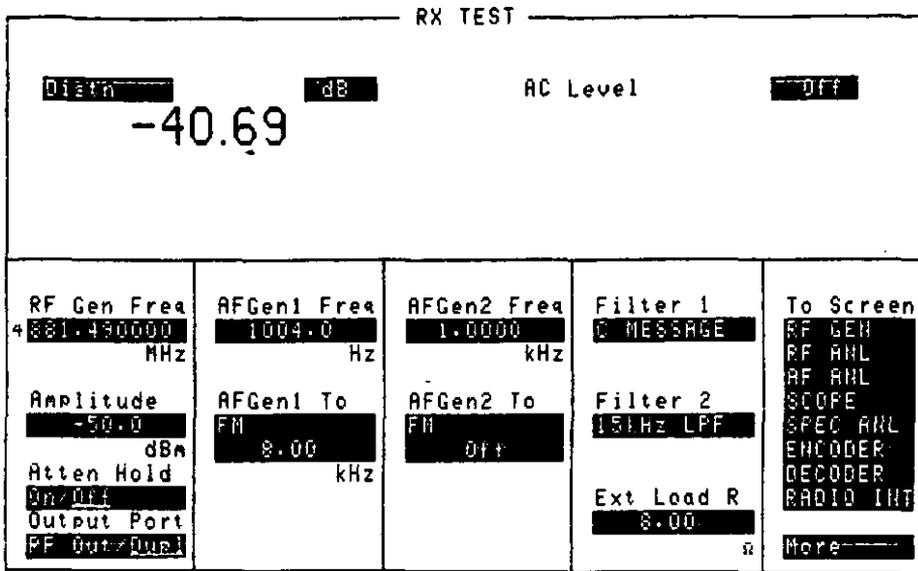


Figura 5.32. Medición de la distorsión de la señal de audio recibida. (Resultado).

5.20. RUIDO EN LA RECEPCIÓN

Por medio de esta prueba es posible determinar el nivel de una señal de ruido permisible dentro de una señal de audio recibida por un teléfono móvil.

La prueba inicia, como se muestra en la figura 5.47, seleccionando el modo analógico y especificando prueba en canal de voz. Se selecciona el canal de frecuencia media 383 y a un nivel máximo de potencia, con la finalidad de que el transmisor opere con sus condiciones extremas, iniciando la transmisión / recepción encendiendo el amplificador de potencia.

Es necesario generar una señal de AF con el equipo de medición, con una frecuencia de 1004 Hz y una desviación de frecuencia de 8.0 kHz, para obtener una señal modulada a la frecuencia correspondiente del canal 383 con un nivel de RF de -50 dBm. Se desactiva el compandor y se coloca el conector externo de entrada / salida, para habilitar la señal de AF, producto de la demodulación, con una frecuencia de 1004 Hz, al equipo de medición.

Se obtiene la medición de ruido en el equipo de medición y se debe verificar que el nivel de la señal de ruido debe estar al menos 34 dB por debajo del nivel de la señal de audio, según lo indica el estándar, en caso contrario se debe de entrar al modo de ajuste. Para salir del modo de prueba se apaga el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.48. se muestra la aplicación del procedimiento de medición de la señal de ruido en el teléfono móvil, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis de la señal recibida.

En la figura 5.33 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado de la primera parte del procedimiento, en el que se obtiene una nivel de 101.36 dB μ V (-18.64 dBV) al aplicar una portadora a -50dBm y una AF moduladora de 1004 Hz con desviación de 8 kHz. En la figura 5.34 se muestra el resultado de la segunda parte del procedimiento, en el que se obtiene una nivel de 49.86 dB μ V (-70.14 dBV) al aplicar una portadora a -50 dBm y una señal de AF sin amplitud. Para obtener la diferencia en dB entre estos dos niveles de señal hacemos la diferencia:

$$\text{Ruido} = 101.36 - 49.86 = 51.5 \text{ dB}$$

Este resultado indica que el nivel de la señal de audio es mayor 51.5 dB que el nivel de la señal de ruido, cumpliendo con el estándar que indica que debe ser al menos 34 dB arriba de la señal de ruido.

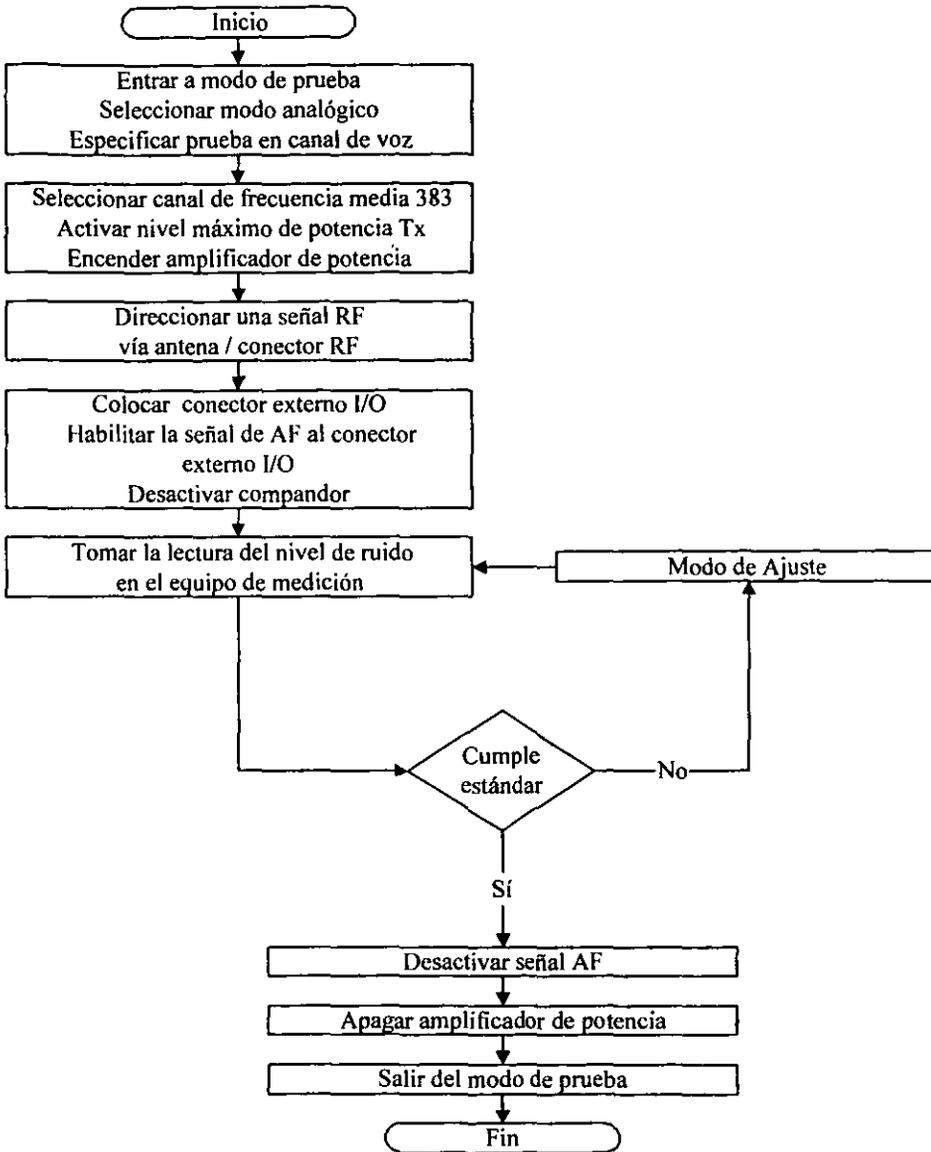


Diagrama 5.47. Medición de ruido en la recepción.

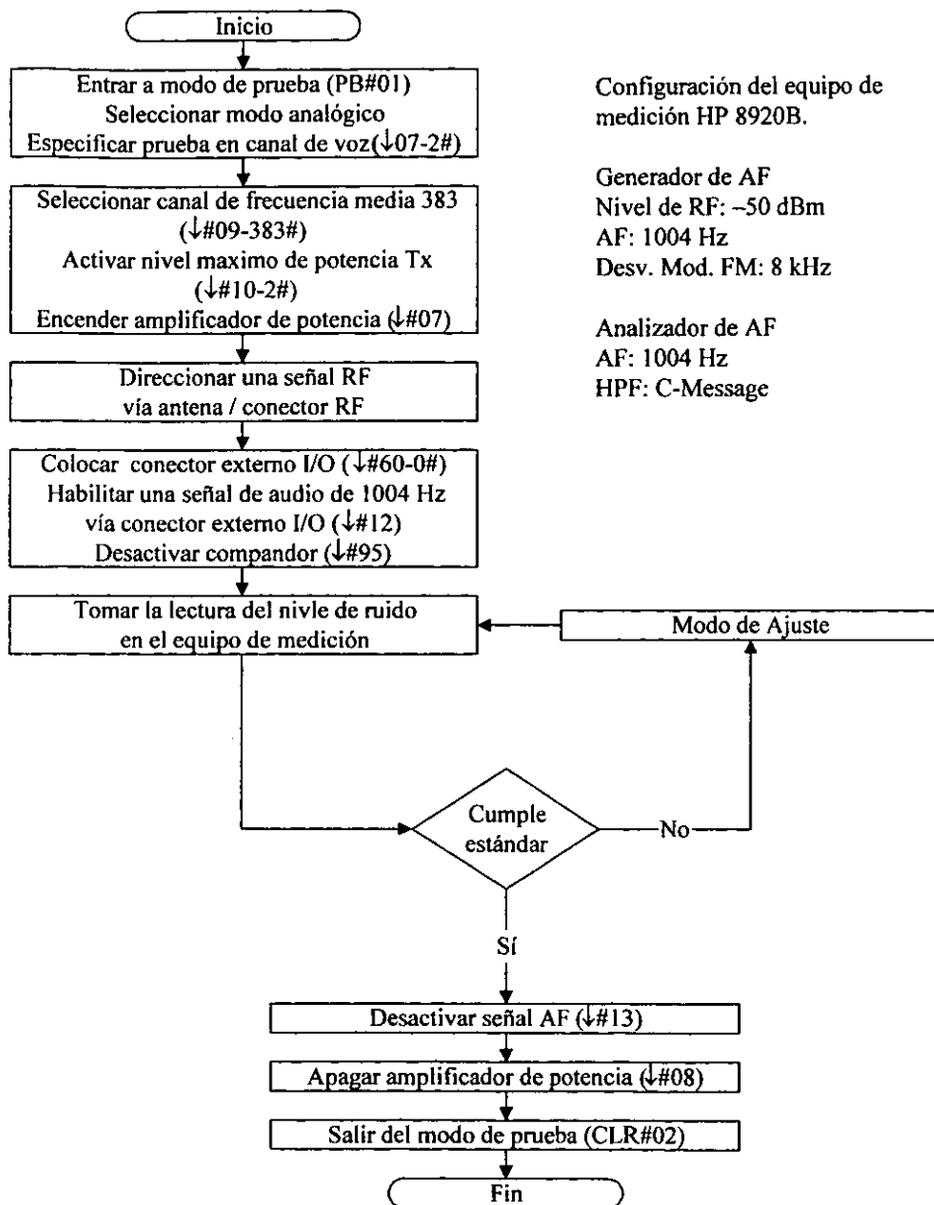


Diagrama 5.48. Medición de ruido en la recepción. (Aplicación).

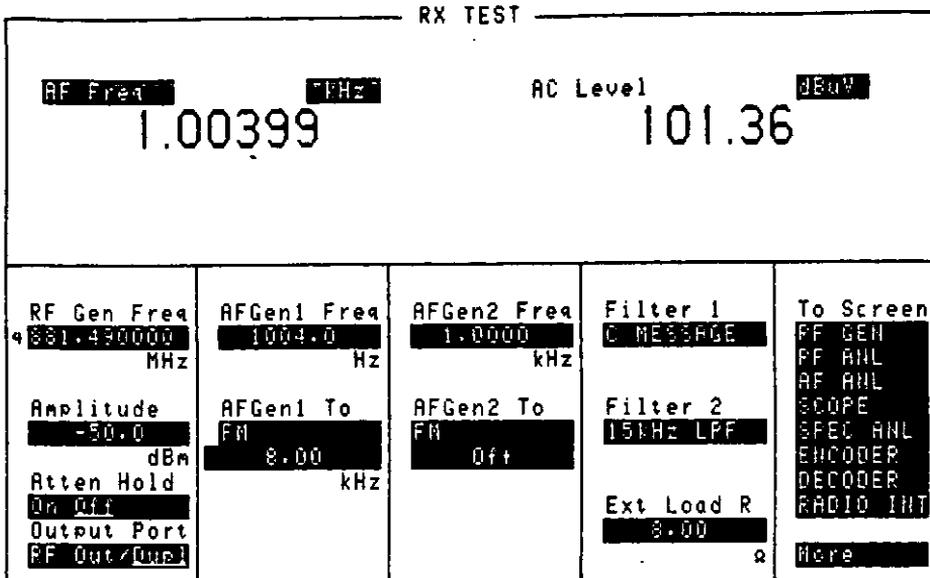


Figura 5.33. Medición de ruido en la recepción. Resultado con AF a 1004 Hz, 8 kHz de desviación.

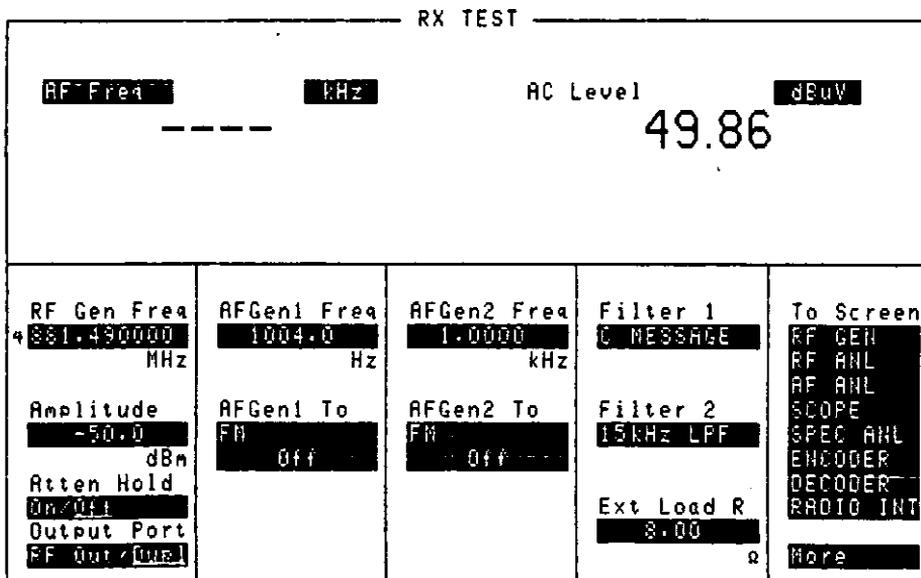


Figura 5.34. Medición de ruido en la recepción. Resultado sin AF.

5.21. RESPUESTA A LA SEÑAL DE AUDIO FRECUENCIA R_x

En esta prueba se determina la respuesta del teléfono móvil a las distintas frecuencias recibidas.

Para iniciar la medición se selecciona el modo analógico y se especifica prueba en canal de voz, como se muestra en la figura 5.49. Se selecciona el canal de frecuencia media 383 y el nivel de potencia 5 para asegurar que el transmisor opere a un nivel de potencia medio, posteriormente se enciende el amplificador de potencia para iniciar la transmisión. Es necesario generar un señal de AF a una frecuencia de 1004 Hz con una desviación de frecuencia de 1 KHz, para obtener una señal modulada a la frecuencia correspondiente del canal 383, con un nivel RF de -50 dBm y transmitirla al teléfono móvil, vía antena / conector RF. Se desactiva el compandor y se coloca el conector externo de entrada / salida, para habilitar la señal de AF, producto de la demodulación, al equipo de medición.

Se obtiene la medición del nivel de AF en el equipo de medición y se referencia su amplitud a 0 dB. Se cambia la frecuencia de la señal de audio a 3 kHz y se obtiene la diferencia considerando la referencia de 0 dB. Se verifica que esta diferencia se encuentre dentro del rango que marca el estándar de -10.5 dB $+2.5$ dB / -5 dB; en caso de no cumplir con este estándar, se debe de entrar al modo de ajuste, para modificar el nivel de la señal AF y/o corregir algún problema de *hardware*. Para terminar la transmisión se apaga el amplificador de potencia.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.50. se muestra la aplicación del procedimiento de medición de la respuesta de audio frecuencia RX en el teléfono móvil, considerando los comandos específicos del teléfono móvil NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis de la señal recibida.

En la figura 5.35 se muestra la pantalla del equipo de medición con el resultado de la primera parte del procedimiento, en el que se obtiene una nivel de 83.27 dB μ V (-36.73 dBV) al aplicar una portadora a -50 dBm y una AF moduladora de 1004 Hz con desviación de 1 kHz. En la figura 5.34 se muestra el resultado de la segunda parte del procedimiento, en el que se obtiene un nivel de 92.13 dB μ V (-27.87 dBV) al aplicar una portadora a -50 dBm y una señal de AF moduladora de 300 Hz con desviación de 1 kHz.. Para obtener la diferencia en dB entre estos dos niveles de señal hacemos la diferencia:

$$\text{Respuesta a la AF} = 83.27 - 92.13 = -8.86 \text{ dB}$$

Este resultado está comprendido dentro del rango de -10.5 dB $+2.5$ dB / -5 dB indicado por el estándar.

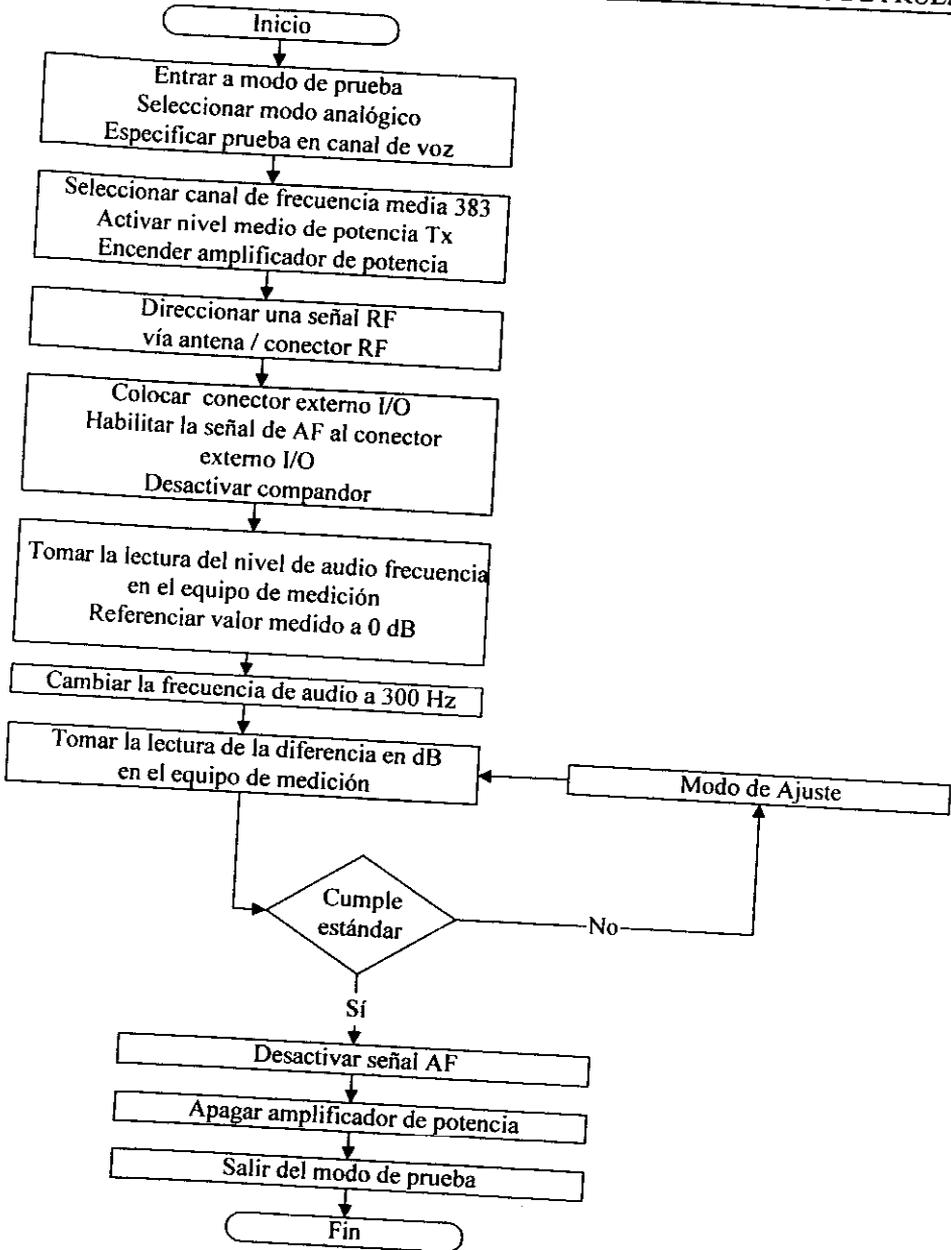


Diagrama 5.49. Medición de la respuesta a la señal de AF en Rx.

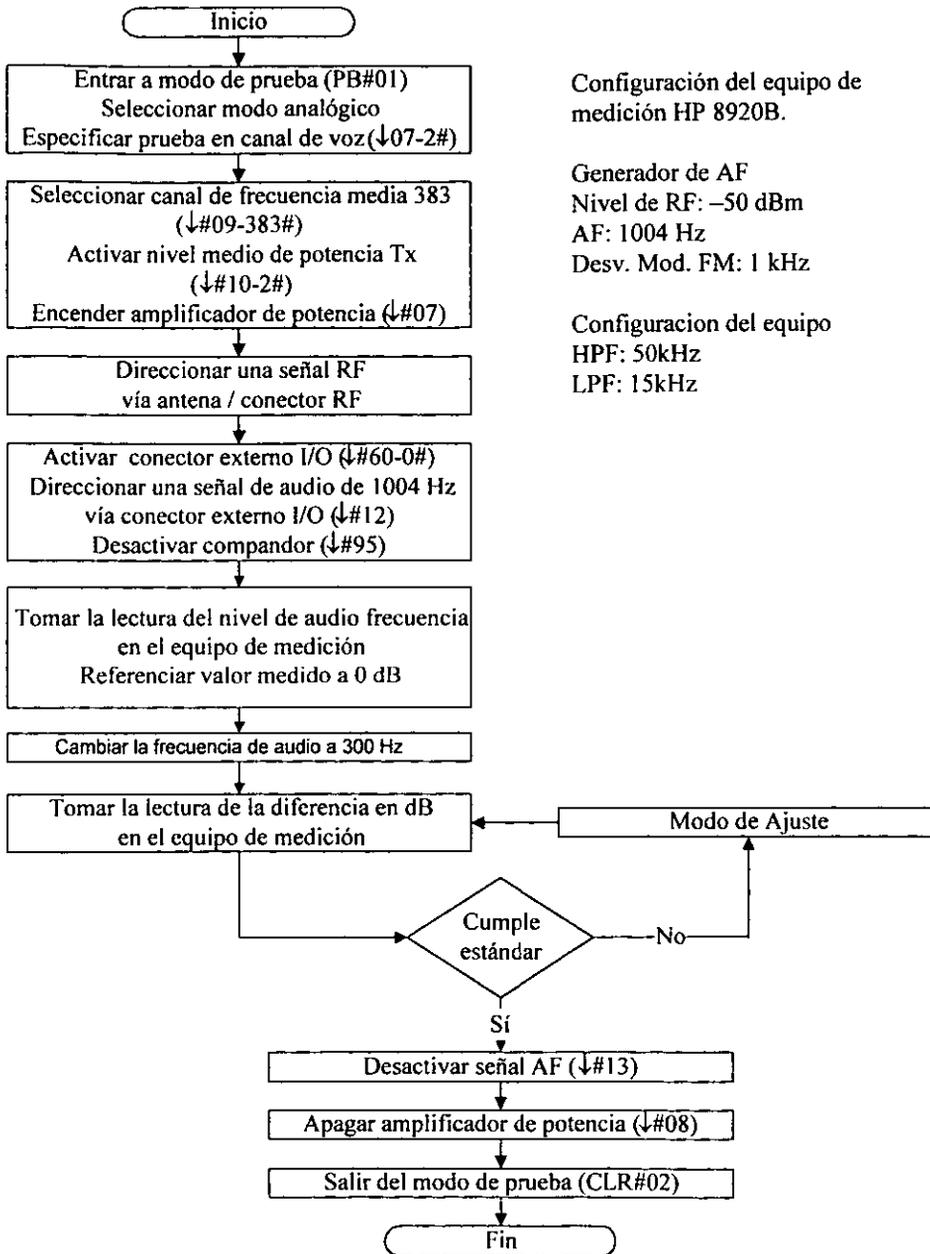


Diagrama 5.50. Medición de la respuesta a la señal de AF en Rx. (Aplicación).

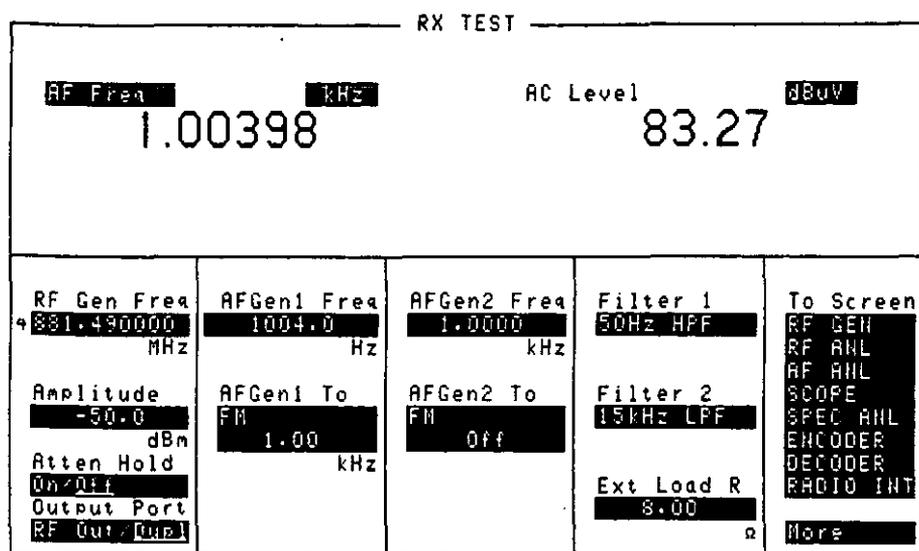


Figura 5.35. Medición de la respuesta a la señal de AF en Rx. Resultado a 1004 Hz, 1 kHz de desviación.

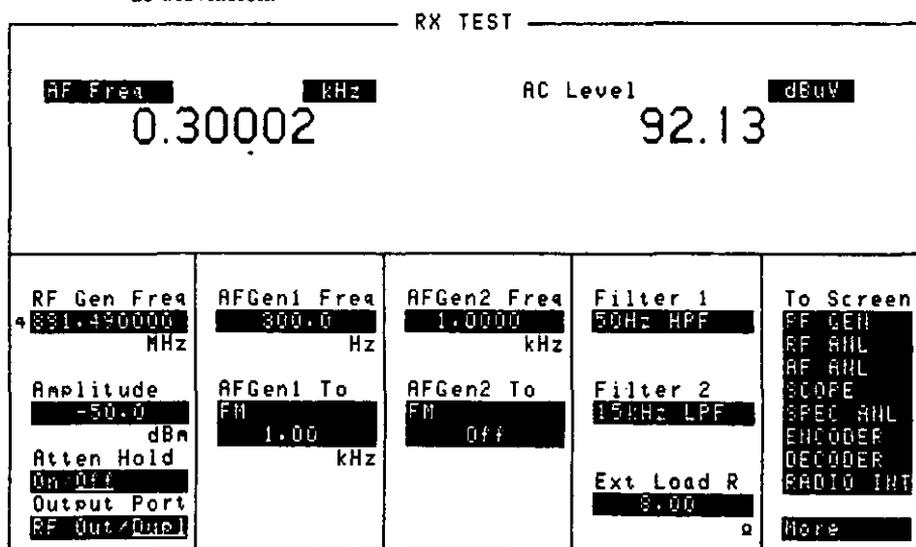


Figura 5.36. Medición de la respuesta a la señal de AF de Rx. Resultado a 300 Hz, 1 kHz de desviación.

5.22. PRECISIÓN DEL RSSI, BANDA CELULAR

En esta prueba se determina la precisión del indicador de intensidad de la señal recibida RSSI, por el teléfono móvil en banda celular.

La prueba, cuyo procedimiento es mostrado en la figura 5.51, se inicia seleccionando el modo analógico, especificando prueba en canal de voz. Se selecciona el canal de frecuencia media 383 y se inyecta una señal de RF a -60 dBm, obteniéndose la medición numérica de RSSI, mostrada por el teléfono móvil, esta medición es registrada y se verifica que esté dentro del rango de -60 dBm \pm 6 dBm. En caso contrario se entra al modo de ajuste y se calibra el indicador de RSSI.

Una vez verificado este primer nivel, se inyecta la señal RF a -80 dBm y se obtiene la medición numérica del RSSI, mostrada por el teléfono móvil. Esta medición es registrada y se verifica que esté dentro del rango de -80 dBm \pm 6 dBm, en caso contrario se entra al modo de ajuste para calibrar el indicador RSSI.

Finalmente, se repite el procedimiento anterior para una señal RF a -110 dBm con una rango desplegado por el teléfono móvil de -110 ± 6 dBm. Si la medición no está dentro de este rango se entra al modo de ajuste y se calibra el indicador SRI.

Para salir del modo de prueba se apaga el transmisor.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.52 se muestra la aplicación del procedimiento de medición de la precisión del indicador de intensidad de la señal recibida RSSI, en el teléfono móvil en banda celular, considerando los comandos específicos del modelo NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis de la señal recibida.

En las figuras 5.37a, 5.38a y 5.39a se muestran las pantallas de configuración del equipo de medición para aplicar una señal portadora correspondiente al canal 383 con amplitudes -60 dBm, -80 dBm y -110 dBm respectivamente. El teléfono móvil debe desplegar el valor que corresponde a estas amplitudes, para el caso del modelo NEX 2600 el valor desplegado esta directamente en dBm, como se muestra en las figuras 5.37b, 5.38b y 5.39b. Los valores desplegados en el teléfono móvil, marcados en los recuadros, son -61 dBm, -79 dBm y -108 dBm, por lo tanto podemos concluir que se cumple con el estándar que indica una variación de ± 6 dB.

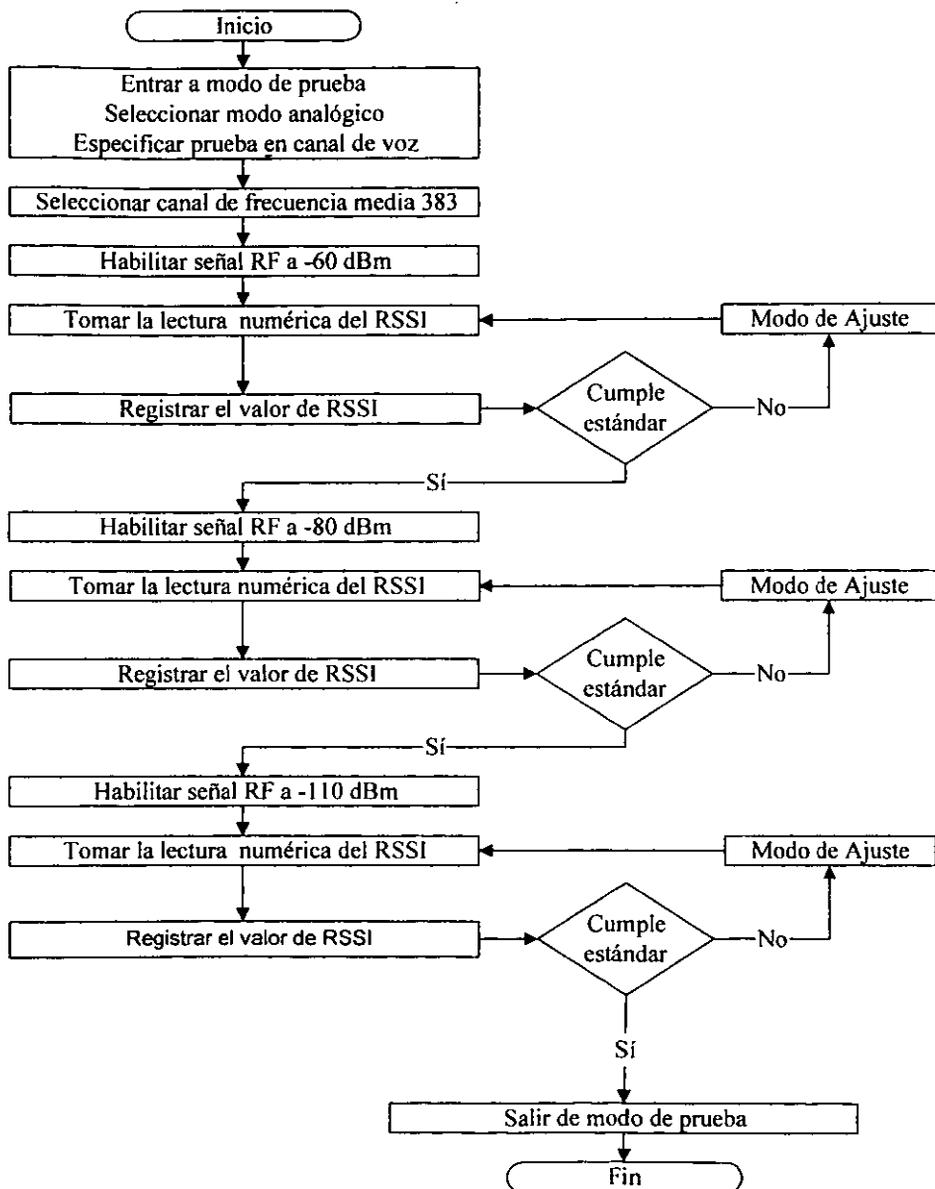


Diagrama 5.51. Medición de la precisión del RSSI, banda celular.

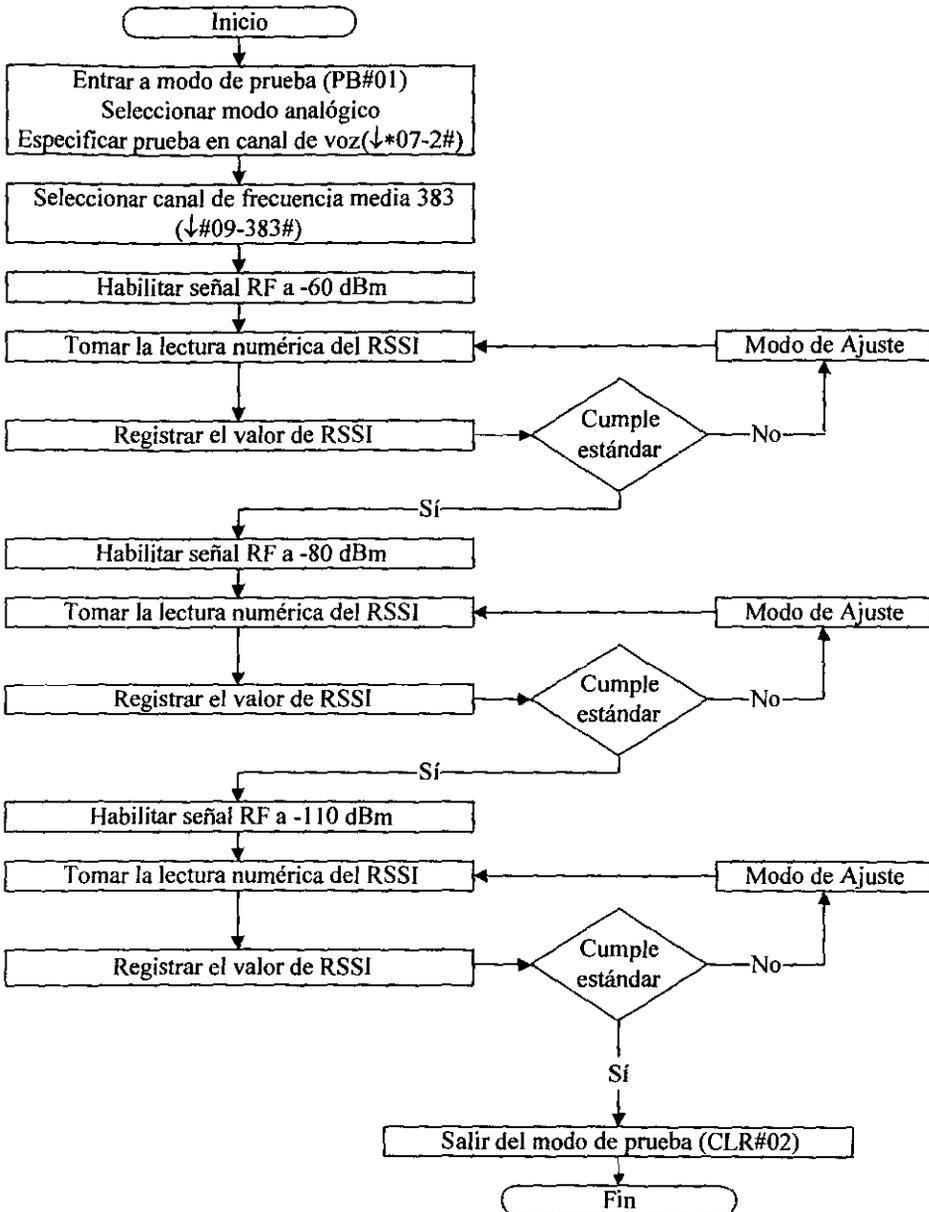


Diagrama 5.52. Medición de la precisión del RSSI, banda celular. (Aplicación).

| RX TEST | | | | | |
|---------------------|--------------|----------------|------------|--|-----|
| Distn | | Off | | AC Level | Off |
| RF Gen Freq | AFGen1 Freq | AFGen2 Freq | Filter 1 | To Screen | |
| # 881.450000 MHz | 1004.0 Hz | -1.0000 kHz | C MESSAGE | RF GEN RF ANL AF ANL SCOPE SPEC ANL ENCODER DECODER RADIO INT | |
| Amplitude | AFGen1 To | AFGen2 To | Filter 2 | | |
| -60.0 dBm | FM Off | FM Off | 10MHz LFF | | |
| Atten Hold | | | Ext Load R | | |
| On/Off | | | 8.00 | | |
| Output Port | | | | More | |
| Rf Out/Ansl | | | | | |

Figura 5.37a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular.
Resultado a -60 dBm.



Figura 5.37b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -60 dBm.

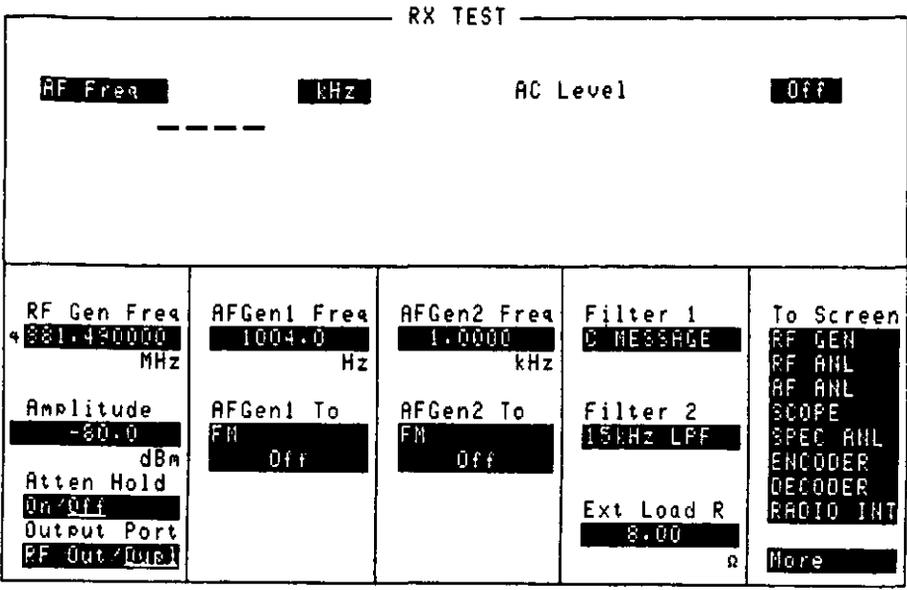


Figura 5.38a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular. Resultado a -80 dBm.



Figura 5.38b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -80 dBm.

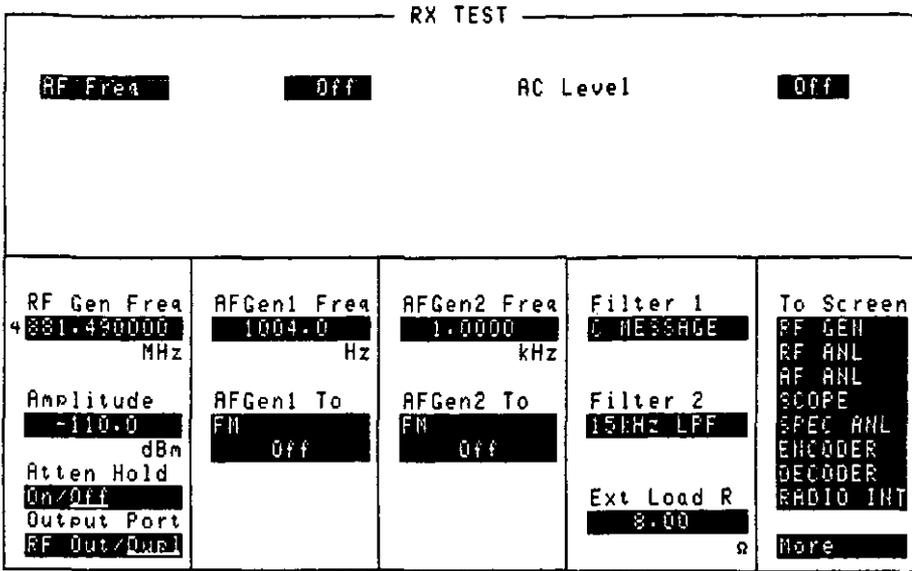


Figura 5.39a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda celular.
Resultado a -110 dBm.



Figura 5.39b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -110 dBm.

5.23. PRECISIÓN DEL RSSI, BANDA PCS

En esta prueba se determina la precisión del indicador de la intensidad de la señal recibida RSSI, por el teléfono móvil, en banda PCS.

La prueba se inicia, como se muestra en el diagrama 5.53, seleccionando el modo analógico, especificando prueba en canal de voz. Se selecciona el canal de frecuencia media 1000 y se inyecta una señal de RF a -60 dBm, obteniéndose la medición numérica de RSSI, mostrada por el teléfono móvil, esta medición es registrada y se verifica que esté dentro del rango de -60 dBm \pm 6 dBm. En caso contrario se entra al modo de ajuste para calibrar el indicador RSSI.

Una vez verificado este primer nivel, se inyecta la señal RF a -80 dBm y se obtiene la medición numérica del RSSI, mostrada por el teléfono móvil. Esta medición es registrada y se verifica que esté dentro del rango de -80 dBm \pm 6 dBm, en caso contrario se entra al modo de ajuste y se calibra el indicador RSSI.

Finalmente, se repite el procedimiento anterior para una señal RF a -110 dBm con una rango desplegado por el teléfono móvil de -110 ± 6 dBm. Si la medición no está dentro de este rango se entra al modo de ajuste para calibrar el indicador RSSI.

Para salir del modo de prueba se apaga el transmisor.

Aplicación del Procedimiento

En el diagrama 5.54 se muestra la aplicación del procedimiento de medición de la precisión del indicador de intensidad de la señal recibida RSSI, en el teléfono móvil, para la banda PCS y considerando los comandos específicos del modelo NEX 2600, indicando la configuración que se requiere en el equipo de medición HP 8920B para efectuar el análisis de la señal recibida.

En las figuras 5.40a, 5.41a y 5.42a se muestran las pantallas de configuración del equipo de medición para aplicar una señal portadora correspondiente al canal 1000 con amplitudes -60 dBm, -80 dBm y -110 dBm respectivamente. El teléfono móvil debe desplegar el valor que corresponde a estas amplitudes, para el caso del modelo NEX 2600 el valor desplegado esta directamente en dBm, como se muestra en las figuras 5.40b, 5.41b y 5.42b. Los valores desplegados en el teléfono móvil, marcados en los recuadros, son -59 dBm, -81 dBm y -110 dBm, por lo tanto podemos concluir que se cumple con el estándar que indica una variación de ± 6 dB.

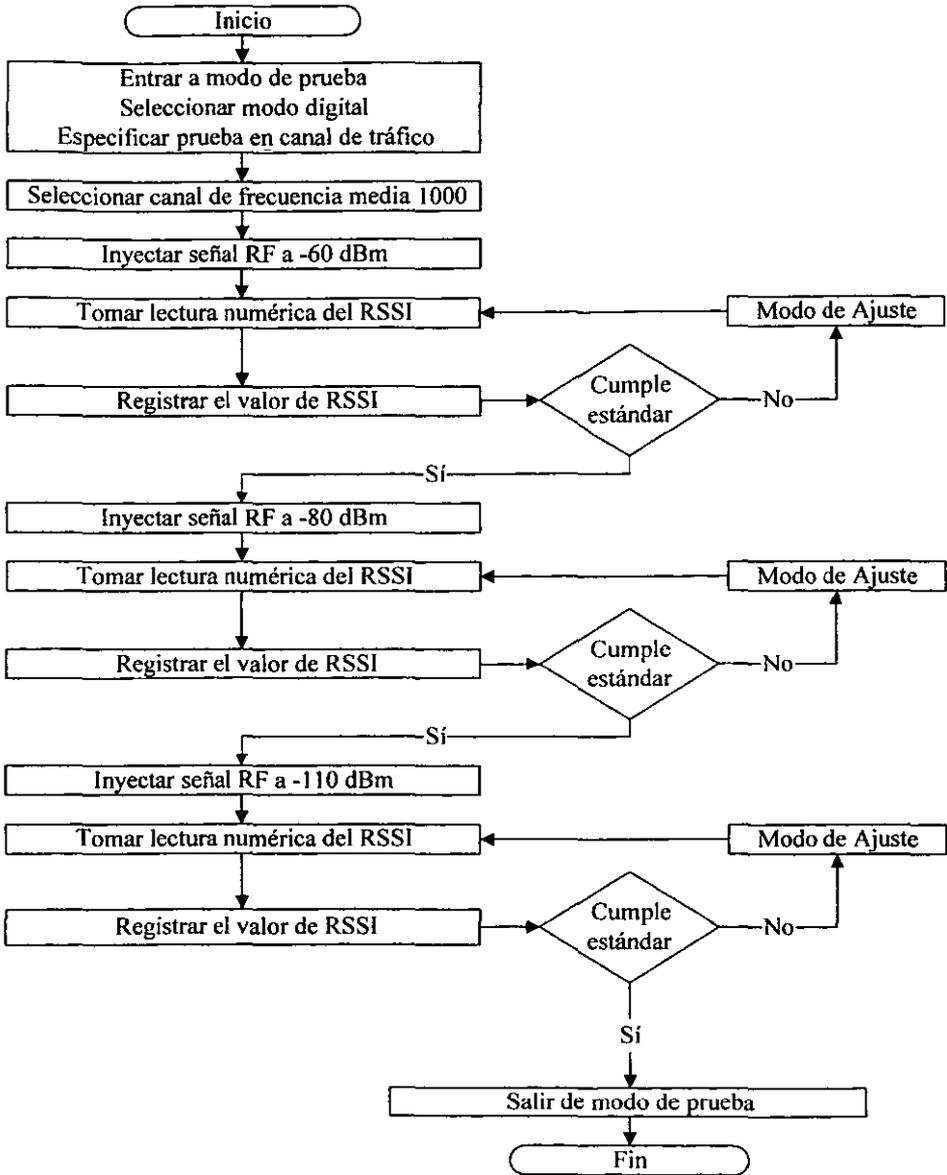


Diagrama 5.53. Medición de la precisión del RSSI, banda PCS.

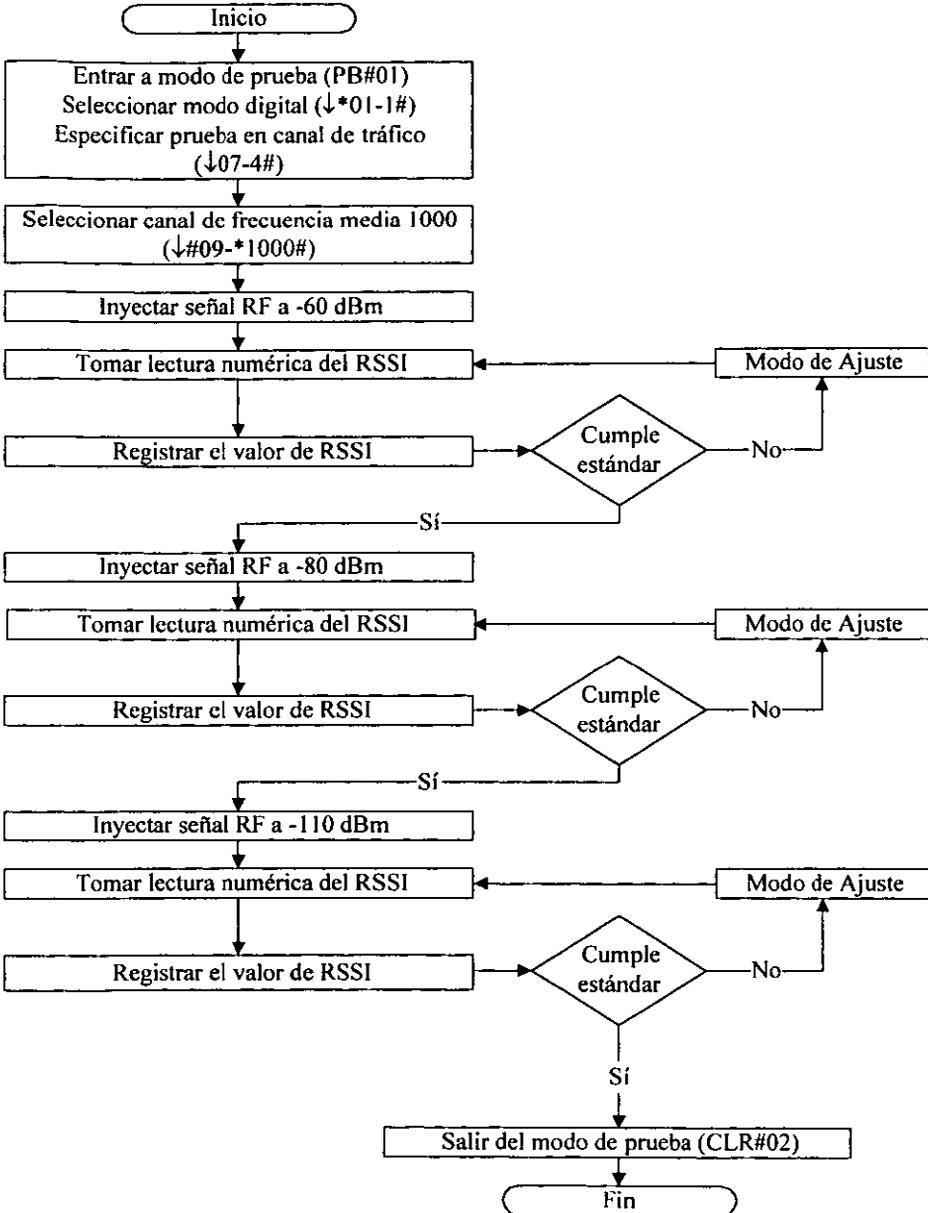


Diagrama 5.54. Medición de la precisión del RSSI, banda PCS. (Aplicación).

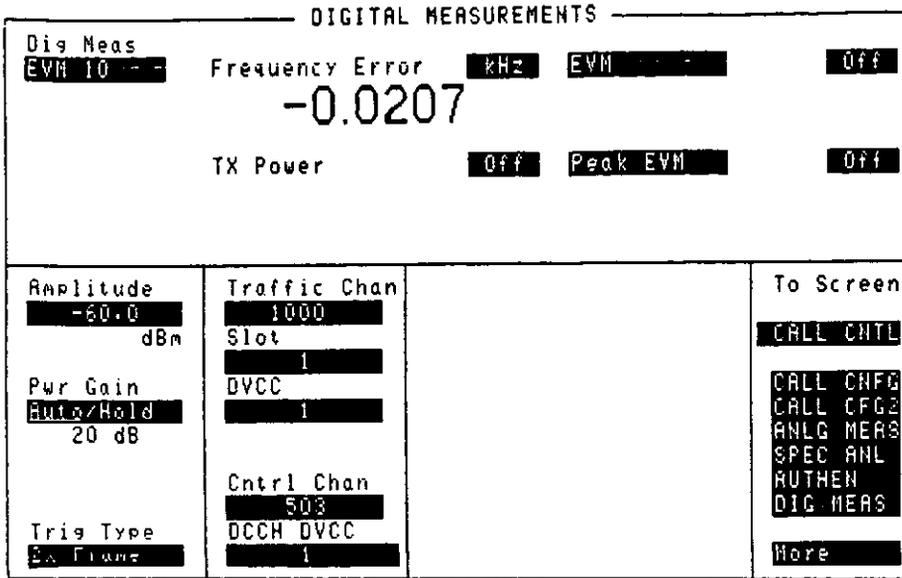


Figura 5.40a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda PCS.
Resultado a -60 dBm.



Figura 5.40b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -60 dBm.

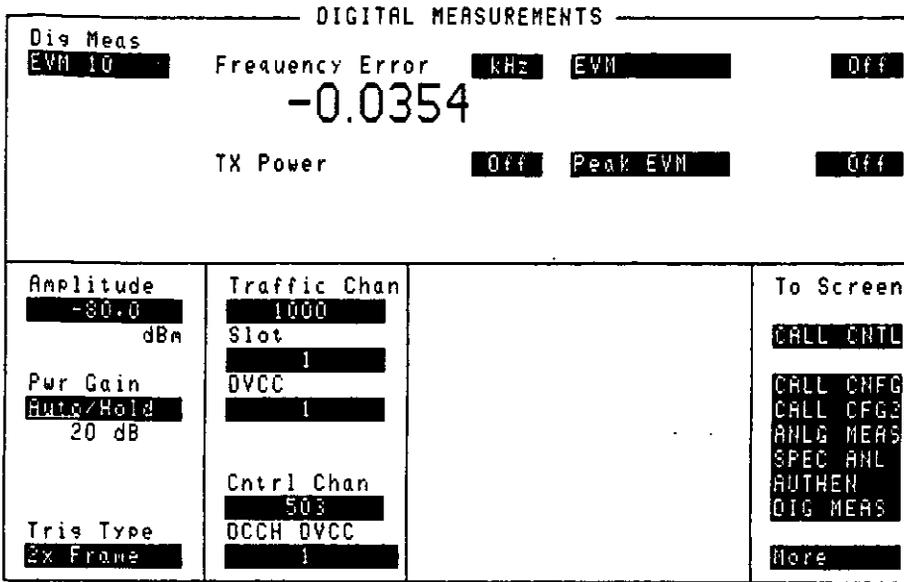


Figura 5.41a. Medición de la precisión del indicador de intensidad de RSSI, banda PCS. Resultado a -80 dBm.

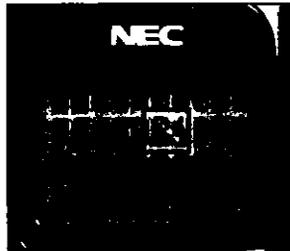


Figura 5.41b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -80 dBm.

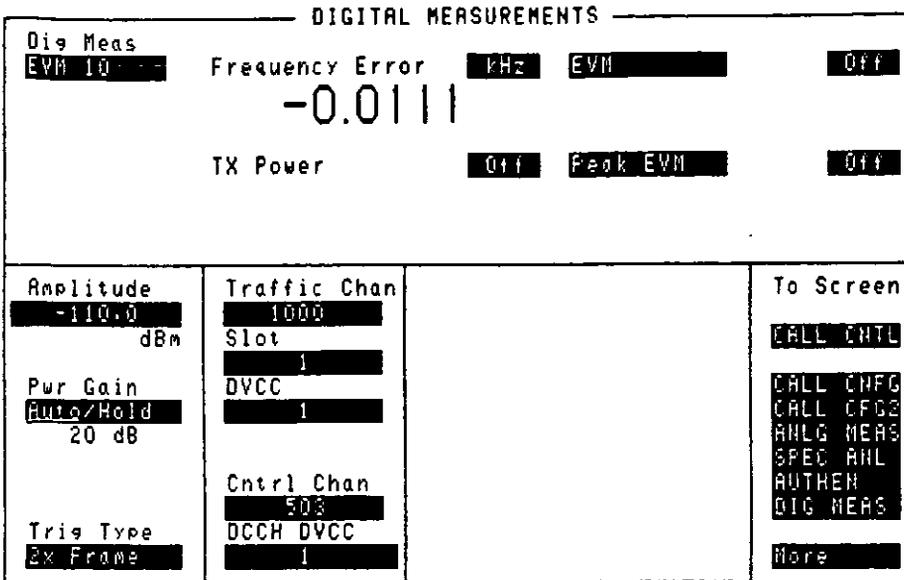


Figura 5.42a. Medición de la precisión del indicador de RSSI, banda PCS. Resultado a -110 dBm.



Figura 5.42b. Valor desplegado por el teléfono móvil al aplicar una portadora de -110 dBm.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El interés de desarrollar este trabajo surgió de la problemática observada en los centros de servicio de telefonía móvil, causada por la imposibilidad de dar una respuesta rápida a las fallas de funcionamiento interno que los teléfonos móviles pueden presentar.

Esta incapacidad se debe a la falta de los conocimientos del sistema celular, del funcionamiento y de la estructura de los teléfonos móviles, así como de sus estándares de desempeño. De igual forma, se observó la necesidad de integrar y desarrollar un conjunto de procedimientos de pruebas aplicables a los modos analógicos y digitales, incluyendo a aquellos teléfonos móviles con la capacidad de operar en la banda PCS. Este conjunto de procedimientos se desarrolló considerando los estándares internacionales de desempeño de un teléfono móvil, ya que éstos proporcionan la información necesaria para determinar su buen funcionamiento.

Al aplicar los procedimientos de pruebas descritos en el capítulo 5, los resultados obtenidos fueron referenciados a los valores indicados en las normas para telefonía móvil, concluyendo que los procedimientos son correctos. Con base en estos resultados se concluye que estos procedimientos sirven como herramienta a los proveedores de servicio de telefonía móvil para implementar un mantenimiento a nivel 2, en donde puedan verificar y ajustar los parámetros de funcionamiento.

Como consecuencia del desarrollo de este trabajo se puede concluir que, además de ser una herramienta para mantenimiento, un proveedor de servicio también puede aplicar los procedimientos de pruebas para determinar los parámetros de calidad de los teléfonos móviles que piense poner a disposición del usuario. De igual forma este trabajo sirve como material de capacitación para personal involucrado en el área de telefonía móvil, ya que describe los conceptos básicos de esta área.

Basados en la experiencia adquirida en la aplicación de los procedimientos, es recomendable el uso de un equipo de comunicaciones que cuente con los componentes necesarios para el análisis de señales RF, AF y datos.

Es importante mencionar que para la aplicación de los procedimientos es necesario que el proveedor de servicio cuente con los comandos de prueba de los teléfonos móviles que desee probar, ya que estos dependen del fabricante.

Un obstáculo con el que nos enfrentamos fue la falta de una norma mexicana para la telefonía móvil que opera en modo digital y en la banda PCS, por lo que se tomó como referencia los estándares internacionales IS-136 e IS-137 emitidos por la EIA / TIA.

Debido a que este trabajo estuvo dirigido a teléfonos móviles con método de acceso TDMA, una posible extensión futura sería adecuar todos estos procedimientos de prueba al método de acceso CDMA, cubriendo de esta forma los dos métodos de acceso empleados en la República Mexicana.

BIBLIOGRAFÍA

- Agilent Technologies, “HP8920B, RF Communication Test Set, User Documentation”, Hewlett Packard, 2000
- Akaiwa, Yoshihiko, “Introduction to Digital Mobile Communication”, John Wiley & Sons, New York, 1997
- ASERCOM, “Curso Integral en Telecomunicaciones, Telefonía Celular e Inalámbrica”, México, 1998
- Boucher J. Neil, “The Cellular Radio Handbook”, Quantum Publishing, Second Edition, 1992
- EIA/TIA Interim Standard “TDMA Cellular/PCS – Radio Interface – Mobile Station – Base Station Compatibility – Traffic Channels and FSK Control Channel, IS 136.1-A”, 1996
- EIA/TIA Interim Standard “TDMA Cellular/PCS – Radio Interface – Mobile Station – Base Station Compatibility – Traffic Channels and FSK Control Channel, IS 136.2-B”, 1997
- EIA/TIA Interim Standard “TDMA Cellular/PCS – Radio Interface – Minimum Performance Standard for Mobile Stations Addendum, IS 137-A”, 1997
- Kennedy, George, “Electronic Communication Systems”, McGrawHill, Third Edition
- Lee, William C.Y., “Mobile Cellular Telecommunications: Analog and Digital Systems”, McGraw-Hill, New York, 1995
- Lee, William C.Y., “Mobile Cellular Telecommunications Systems”, McGraw-Hill, New York, 1989
- NEC Wireless Engineering Division, “MAX 960, Portable Analog Telephone, Instruction Manual and Drawings”, WED, 1998
- NEC Wireless Engineering Division, “NEX 260/2610, Portable Telephone, Manual and Drawings”, WED, 2000
- NEC Wireless Engineering Division, “NEX 260/2610 Technical Training”, WED, 2000
- Parsons, John David, “Mobile Communications Systems”, Halsted, New York, 1989
- Streimer, Ferrel, “Sistemas de Comunicación”, Alfaomega, México, 1989

Direcciones en Internet

- www.cofetel.gob.mx
- www.eia.org
- www.privateline.com/home.htm
- www.secofi.gob.mx/normas/home.html
- www.tiaonline.org
- www.uwcc.org

APÉNDICE A

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

| | |
|---------------|---|
| $\pi/4$ DQPSK | Modulación de un sistema TDMA IS-136 |
| ACC | Canal de control analógico |
| AFC | Señal de control automático de frecuencia |
| AGC | Señal de control automático de ganancia |
| AVC | Canal de voz analógico |
| BCCH | Canal de control de difusión |
| BER | Tasa de error de bits |
| BS | Estación Base |
| COFETEL | Comisión Federal de Telecomunicaciones, organismo nacional encargado de regular el espectro de radiofrecuencia en la República Mexicana |
| DCCH | Canal de control digital. |
| DTC | Canal de tráfico digital |
| DTMF | Tonos duales multifrecuenciales |
| ERP | Potencia efectiva radiada |
| ESN | Número de serie electrónico |
| FDCCH | Canal de control digital de bajada |
| FDTC | Canal de tráfico digital de bajada |
| FOCC | Canal de control de bajada |
| FVC | Canal de voz analógico de bajada |
| I / Q | Componentes I / Q para la modulación $\pi/4$ DQPSK |
| ITU | Organismo internacional encargado de emitir las recomendaciones en el sector de telecomunicaciones |
| LVM | Módulo de verificación de sitio |
| MAHO | <i>Hand-off</i> móvil asistido |
| MBLC | Verificación de línea bidireccional móvil |
| MIN | Número de identificación de una estación móvil |
| MPCI | Indicador de capacidad de protocolo de estación móvil |
| MS | Estación Móvil |
| MSC | Central de conmutación móvil |
| <i>Page</i> | Radio localización |
| PCS | Servicios personales de comunicaciones |
| ppm | Partes por millón |
| PSTN | Red de telefonía pública |
| RACH | Canal de acceso aleatorio |

| | |
|--------|--|
| RDCCCH | Canal de control digital de subida |
| RDTCC | Canal de tráfico digital de subida |
| RECC | Canal de control de subida |
| RF | Radio Frecuencia |
| RSSI | Indicador de fuerza de señal recibida; medición de potencia detectada en la entrada del receptor |
| RVC | Canal de voz analógico de subida |
| Rx | Receptor |
| RxLO#1 | 1ª frecuencia local de recepción |
| RxLO#2 | 2ª frecuencia local de recepción |
| SACCH | Canal de control asociado |
| SAT | Tono supervisor de audio |
| SCF | Canal compartido retroalimentado |
| SCM | Marca de clase de estación |
| SINAD | Relación señal más ruido más distorsión a ruido más distorsión; medición de la sensibilidad del receptor |
| SNR | Relación señal a ruido. |
| SPACH | Canal de mensajes cortos punto a punto |
| ST | Tono de señalización |
| TDMA | Acceso múltiple por división de tiempo; método de acceso IS-136 |
| TRX | Módulo de transmisión / recepción de RF. |
| Tx | Transmisor |
| TXCO | Oscilador controlado por temperatura |
| VCC | Canal de control de voz |

APÉNDICE B

TELÉFONO MÓVIL NEX 2600

El teléfono móvil NEC modelo NEX 2600 es una estación móvil de tercera generación basada en el estándar IS-137 TDMA, que funciona en la banda celular de 800 MHz y en la banda PCS de 1900 MHz. Este teléfono móvil está diseñado para una operación *dual mode*, es decir, soporta una operación tanto analógica como digital.

En la tabla B.1 del presente apéndice se enlistan las especificaciones generales de desempeño de este teléfono.

| Desempeño General | Parámetros |
|---|-------------------------|
| Frecuencia de transmisión banda PCS | 1850.010 a 1909.950 MHz |
| Frecuencia de transmisión banda Celular | 824.040 a 848.970 MHz |
| Frecuencia de recepción banda PCS | 1930.050 a 1989.990 MHz |
| Frecuencia de recepción banda Celular | 869.040 a 893.970 MHz |
| Espaciamiento transmisor / receptor banda PCS | 80.04 MHz |
| Espaciamiento transmisor / receptor banda Celular | 45 MHz |
| Espaciamiento entre canales | 30 kHz |
| 1ª IF de recepción (PCS y Celular D-AMPS) | 130.050 MHz |
| 2ª IF de recepción (PCS y Celular D-AMPS) | 450 kHz |
| TxLO#2 PCS | 210.09 MHz |

Tabla B.1. Resumen de especificaciones del teléfono móvil NEX 2600. (Continúa).

| Desempeño General | Parámetros |
|---|--|
| TxLO#2 Celular D-AMPS | 175.050 MHz |
| Número de canales banda PCS | 1998 |
| Número de canales banda Celular | 832 |
| Modulación en modo analógico | FM |
| Modulación en modo digital | $\pi/4$ DQPSK |
| Consumo de corriente en modo analógico <i>Standby</i> En llamada | ≤ 69 mA ≤ 850 mA |
| Consumo de corriente en modo digital <i>Standby</i> En llamada | ≤ 22 mA ≤ 440 mA |
| Potencia de transmisión | 0.6 W máximo |
| Duración de batería en <i>standby</i> Batería NiMH Batería Li-Ion | 70 hr (Digital) / 14 hr (Analógico) 85 hr (Digital) / 19 hr (Analógico) |
| Duración de batería en llamada Batería NiMH Batería Li-Ion | 110 min (Digital) / 45 min (Analógico) 170 min (Digital) / 75 min (Analógico) |
| Desviación máxima de frecuencia | 10.5 kHz \pm 1.5 kHz |
| Desviación estándar | 2.9 kHz \pm 0.2 kHz |
| Desviación ST | 8 kHz \pm 0.8 kHz |
| Desviación SAT | 2 kHz \pm 0.2 kHz |

Tabla B.1. Resumen de especificaciones del teléfono móvil NEX 2600. (Continuación).

| Desempeño General | Parámetros |
|---|--|
| Desviación de DTMF | 10 kHz \pm 2.0 kHz |
| Distorsión de AF en transmisión | < -26 dB |
| Precisión de la modulación | < 12.5 % (EVM) |
| Potencia de canal adyacente 30 kHz 60 kHz 90 kHz | > 26 dB > 45 dB > 45 dB |
| Sensibilidad del receptor en modo analógico | > 12 dB (SINAD) |
| Sensibilidad del receptor en modo digital | < 3% (BER) |
| Nivel de AF en recepción | -27.8 dBV \pm 3 dB |
| Distorsión de AF en recepción | < -26 dB |
| RSSI | 60 dBm \pm 6 dBm (canal medio, RF -60 dBm, sin modular) |

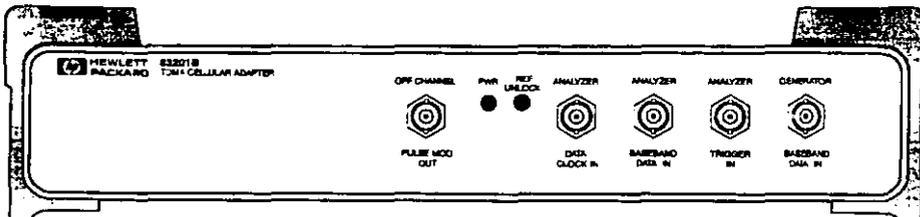
Tabla B.1. Resumen de especificaciones del teléfono móvil NEX 2600. (Continuación).

APÉNDICE C

EQUIPO DE MEDICIÓN HP 8920B

El HP 8920B es un equipo constituido por 3 módulos: el módulo adaptador HP 83206 TDMA para banda celular (D-AMPS IS-54 y DCCH IS-136); el módulo para pruebas de comunicaciones HP 8920 y el módulo para banda PCS HP 83236.

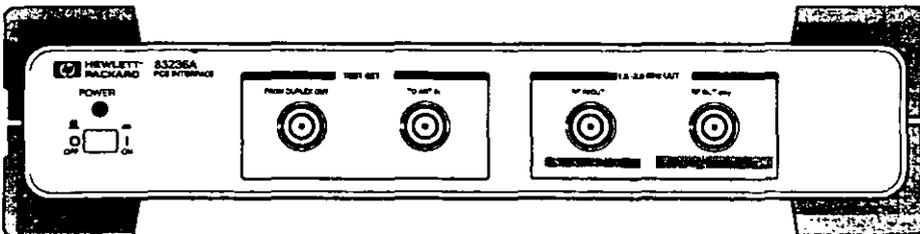
Módulo adaptador HP 83206 TDMA para banda celular (DAMPS IS-54 y DCCH IS-136)



Submódulos que lo componen:

- Generador de señal $\pi/4$ DQPSK
- Analizador de modulación $\pi/4$ DQPSK
- Fuente de datos
- Analizador de BER

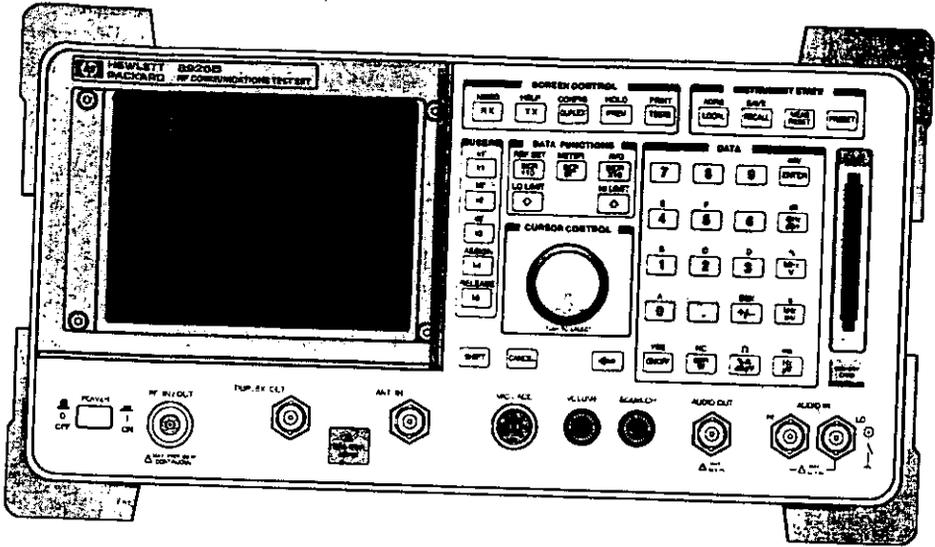
Módulo para banda PCS, HP 83236



Submódulos que lo componen:

- Adecuador de frecuencias para mediciones en la banda PCS

Módulo para pruebas de comunicaciones, HP 8920



Submódulos que lo componen:

- Generadores de señal RF/AF
- Analizadores de modulación AM/FM
- Medidor de potencia RF/AF
- Analizador de espectro
- Medidor de potencia de canal adyacente
- Osciloscopio
- Codificador/decodificador de señales
- Generador de funciones
- Voltmetro de AC/DC
- Medidores de SINAD/SNR
- Medidor de corriente de DC
- Referencia de alta estabilidad
- Interfaz IEEE 488.2/RS-232

ESPECIFICACIONES**GENERADOR DE SEÑALES***Frecuencia RF:*

Rango de frecuencia: 250 kHz a 1 GHz

Precisión y estabilidad: ± 0.015 Hz*Salida de RF:*

RF In/Out

Precisión del nivel: ± 1.2 dB (nivel ≥ -127 dBm)

Rango de nivel: -137 a -21 dBm

Conector de salida Duplex:

Precisión del nivel: ± 1.0 dB

Rango de nivel: -127 a 7.0 dBm

SWR

RF In/Out $< 1.5:1$ Conector de salida Duplex $< 2.0:1$ (nivel menor -4dBm)*FM*Desviación Máxima de FM (para frecuencias > 25 Hz)100 kHz: para F_c de 0.25 a < 249 MHz50 kHz: para F_c de 249 a < 501 MHz

Precisión en FM

 ≤ 10 kHz de desviación: ± 3.5 (50 Hz) ≤ 10 kHz de desviación: ± 3.5 (50 Hz)*Generador de señal TDMA*

Rango de frecuencia: 824 MHz a 894 MHz

Rango de nivel de salida

RF In/Out: -22 dBm a -127 dBm

Salida Duplex: +4 dBm a 127 dBm

Error en frecuencia: ± 4 Hz mas error en la referencia**ANALIZADOR DE RF***Medición de RF*

Rango de medición: 400 kHz a 1 GHz

Rango de niveles

RF In/Out: 50 μ W a 10 W continuos

Antena In: -36 dBm a +20 dBm en autosintonia

Medición de potencia de RF

Rango de frecuencia: 30 MHz a 1 GHz

Rango de nivel: 50 μ W a 10 W

Precisión: \pm 5% de la lectura

SWR: RF In/Out \leq 1.5:1

Medición de FM

Rango de frecuencia: 5 MHz a 1GHz

Desviación: 20 Hz a 75 kHz

Sensibilidad: 2 μ V

Precisión: \pm 4% de la lectura mas ruido residual de FM

Ancho de banda: 3dB de 2Hz a 70 kHz

Rango de nivel de entrada: -26 a +42 dBm en RF In/Out

Módulo adaptador TDMA para banda celular, DAMPS (IS-54) y DCCH (IS-136)

Rango de frecuencia: 824 MHz a 894 MHz

Rangos de niveles de entrada:

RF In/Out: 1 mW a 60 W (0 a +47.8 dBm)

Antena In: -36 a +16 dBm

Error de frecuencia de entrada: 1 kHz

Precisión de la medición de magnitud del vector de error: \pm 0.4% más 2% en la lectura

Precisión en la medición de error de frecuencia: \pm 2.5 Hz más precisión de la referencia

ANALIZADOR DE AF*Medición de frecuencia*

Rango de frecuencia: 20 Hz a 400 kHz

Precisión: \pm 0.02 % más resolución, más precisión de la referencia

Entrada externa: 20 mV a 30 V RMS

Medición de voltaje AC

Rango: 0 a 30 V RMS

Precisión: \pm 3 % de la lectura

Medición de voltaje DC

Rango: 100 mV a 42 V

Precisión: \pm 1.0 % de la lectura

Medición de distorsión

Rango de frecuencia: 300 Hz a 10 kHz $\pm 5\%$
Rango de nivel de entrada: 30 mV a 30V RMS
Rango del display: 0.1 % a 100 Hz
Precisión: ± 1 dB (0.5 al 100% de distorsión)

Medición de SINAD

Rango de frecuencia: 300 Hz a 10 kHz $\pm 5\%$
Rango de nivel de entrada: 30 mV a 30V RMS
Rango del display: 0 a 60 dB
Precisión: ± 1 dB (de 0 a 46 dB de SINAD)

Filtros de Audio:

Estándar: <20 Hz HPF, 50 Hz HPF, 300 Hz HPF, 300Hz LPF, 3kHz LPF, 15 kHz LPF, >99 kHz LPF
Opcional: C-message, CCITT, 400 Hz HPF, 4 kHz BPF, 6 kHz BPF

Detectores de Audio:

RMS, RMS*SQRT2, PK+, PK-, PK+ Hold, PK- Hold, PK \pm /2, PK \pm /2 Hold, PK \pm Max, PK \pm Max Hold

APÉNDICE D RESUMEN DE ESTÁNDARES

En la tabla D.1 se muestra un resumen de los estándares que marcan las normas IS-54 e IS-137, utilizadas en los procedimientos de pruebas desarrollados en este trabajo.

| Desempeño General | Modo de Operación | Banda | Parámetros |
|---|-------------------|----------------|--------------------|
| Estabilidad en frecuencia en Tx | Analógico | Celular | ± 1.5 ppm |
| Estabilidad en frecuencia en Tx | Digital | Celular PCS | ± 180 Hz |
| Reducciones de potencia niveles 0, 1, 2 | Analógico | Celular | 28 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 3 | Analógico | Celular | 24 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 4 | Analógico | Celular | 20 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 5 | Analógico | Celular | 16 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 6 | Analógico | Celular | 12 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 7 | Analógico | Celular | 8 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia niveles 0, 1, 2 | Digital | Celular | 28 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 3 | Digital | Celular | 24 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 4 | Digital | Celular | 20 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 5 | Digital | Celular | 16 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 6 | Digital | Celular | 12 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 7 | Digital | Celular | 8 dBm +2 dB/-4 dB |

Tabla D.1. Resumen de estándares empleados en los procedimientos de pruebas.
(Continúa).

| Desempeño General | Modo de Operación | Banda | Parámetros |
|---|-------------------|---------|------------------------|
| Reducciones de potencia nivel 8 | Digital | Celular | 4 dBm \pm 3 dB |
| Reducciones de potencia nivel 9 | Digital | Celular | 0 dBm \pm 6 dB |
| Reducciones de potencia nivel 10 | Digital | Celular | -4 dBm \pm 9 dB |
| Reducciones de potencia niveles 0, 1, 2 | Digital | PCS | 28 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 3 | Digital | PCS | 24 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 4 | Digital | PCS | 20 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 5 | Digital | PCS | 16 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 6 | Digital | PCS | 12 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 7 | Digital | PCS | 8 dBm +2 dB/-4 dB |
| Reducciones de potencia nivel 8 | Digital | PCS | 4 dBm \pm 3 dB |
| Reducciones de potencia nivel 9 | Digital | PCS | 0 dBm \pm 6 dB |
| Reducciones de potencia nivel 10 | Digital | PCS | -4 dBm \pm 9 dB |
| Desviación máxima de frecuencia | Analógico | Celular | 9 kHz a 11.3 kHz |
| Desviación estándar de frecuencia | Analógico | Celular | 2.9 kHz \pm 0.2 kHz |
| Frecuencia ST | Analógico | Celular | 10 kHz \pm 0.001 kHz |
| Desviación ST | Analógico | Celular | 8 kHz \pm 0.8 kHz |
| Frecuencia SAT | Analógico | Celular | \pm 20 Hz |
| Desviación SAT | Analógico | Celular | 2 kHz \pm 0.2 kHz |

Tabla D.1. Resumen de estándares empleados en los procedimientos de pruebas.
(Continuación).

| Desempeño General | Modo de Operación | Banda | Parámetros |
|---|-------------------|----------------|---|
| Desviación de DTMF | Analógico | Celular | 9 kHz a 10.2 kHz |
| Respuesta a la señal AF | Analógico | Celular | 8.5 dBm +2.5 dB/-3.5 dB |
| Distorsión de la señal AF en Tx | Analógico | Celular | ≤ -26 dB |
| Ruido en Tx | Analógico | Celular | ≤ 32 dB |
| Precisión de la modulación | Digital | Celular PCS | ≤ 12.5 % (EVM) |
| Potencia de canal adyacente Adyacente 1er alterno 2º alterno | Digital | Celular PCS | ≤ 26 dB ≤ 45 dB ≤ 45 dB |
| Sensibilidad del receptor | Analógico | Celular | > 12 dB (SINAD) |
| Sensibilidad del receptor | Digital | Celular PCS | ≤ 3% (BER) |
| Nivel de AF en recepción | Analógico | Celular | -27.8 dBV ±2 dB |
| Distorsión de AF en recepción | Analógico | Celular | ≤ -26 dB |
| RSSI RF -60 dBm sin modular RF -80 dBm sin modular RF -110 dBm sin modular | Analógico | Celular | 60 dBm ±6 dB 80 dBm ±6 dB 110 dBm ±6 dB |
| RSSI RF -60 dBm sin modular RF -80 dBm sin modular RF -110 dBm sin modular | Digital | Celular PCS | 60 dBm ±6 dB 80 dBm ±6 dB 110 dBm ±6 dB |

Tabla D.1. Resumen de estándares empleados en los procedimientos de pruebas.
(Continuación).